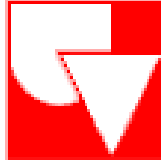




**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA CORTE Y PERFORADO DE  
CHAPETAS DE UNION EMPLEADAS EN LAS CARROCERÍAS DE  
SEMIRREMOLQUES**

**WILLIAM URREGO PINEDA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2018**



**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA CORTE Y PERFORADO DE  
CHAPETAS DE UNION EMPLEADAS EN LAS CARROCERÍAS DE  
SEMIRREMOLQUES**

Proyecto de Grado Para optar al Título Profesional de Ingeniero Mecánico

**WILLIAM URREGO PINEDA**  
**Cód. 0030065**

**ORIENTADOR:**  
**JOSE ISIDRO GARCÍA MELO. PhD.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SANTIAGO DE CALI SEPTIEMBRE DE 2018**

### **Nota de aceptación**

Aprobado por el comité de trabajos de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

---

**JOSÉ ISIDRO GARCÍA MELO**  
Director del Proyecto

---

Firma jurado

---

Firma jurado

# DEDICATORIA

A mis padres, Cristina y Joaquín, este logro es el fruto de sus enseñanzas y sacrificio: *“por siempre vivirá en mi pecho lo que aprendí de su amor, de mi madre el cariño, de mi padre el esfuerzo, de los dos la esperanza”*.

A mis hijos, Valeria y Daniel, por ustedes nunca bajé ni bajaré los brazos.

Dedicado a mi Negra, gracias por tu apoyo incondicional en este largo proceso.

A mis hermanos, familiares y amigos que siempre estuvieron pendientes de este gran logro en mi vida.

# **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida personal y profesional. A mi familia por todo el apoyo y motivación recibida.

Agradezco a la Universidad del Valle, la Escuela de Ingeniería Mecánica y en especial al profesor Hugo Cenen Hoyos por brindarme esta gran oportunidad para terminar la carrera. Al profesor José Isidro García, por aceptar ser mi orientador en este proyecto y darme los lineamientos para poder terminarlo de la mejor manera. A Omaira, la secretaria del programa, quien siempre tiene una excelente disposición para ayudarnos.

Finalmente, a mis compañeros de estudio, compañeros de trabajo, familiares y amigos que de alguna u otra manera estuvieron presentes e influyeron positivamente en el desarrollo de mis estudios profesionales.

# CONTENIDO

CONTENIDO.....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
RESUMEN.....	9
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION .....	10
OBJETIVOS.....	12
General .....	12
Específicos.....	12
CAPITULO 1. MARCO TEORICO .....	13
TROQUELADO Y ESTAMPADO DE METALES .....	13
EL PUNZONADO O CORTE .....	15
PRENSAS PARA EL EMPLEO DE TROQUELES.....	44
CAPITULO 2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO .....	46
CAPITULO 3. DISEÑO CONCEPTUAL .....	48
DESCRIPCION DE LAS CHAPAS DE UNION .....	48
PROCESO DE PRODUCCION ACTUAL.....	50
Análisis del troquel de corte actual.....	50
Tiempos incurridos en el proceso de taladrado. ....	53
RESTRICCIONES DE DISEÑO .....	54
REQUISITOS DE DISEÑO.....	55
CAPITULO 4. DISEÑO PRELIMINAR .....	56
SELECCIÓN DEL TIPO DE TROQUEL.....	56
CAPITULO 4. DISEÑO DE DETALLE .....	59
TIRA DE RECORTE .....	59
CALCULO DE FUERZAS .....	61
CENTRO DE PRESION .....	62
JUEGO ENTRE MATRIZ Y PUNZON .....	63
PLACA MATRIZ.....	63
PUNZONES .....	64
PLACA PORTA PUNZONES .....	66
PLACA SUFRIDERA.....	66
REGLAS O GUIAS DE MATERIAL.....	66
TOPES.....	67
EXTRACTORES Y EXPULSORES .....	68
PORTA TROQUEL .....	70
CAPITULO 5. ANALISIS DE RESULTADOS .....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75

# LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Fotografías del troquel original.</i>	10
<i>Figura 2. Vista en perspectiva de un troquel completo</i>	13
<i>Figura 3. Despiece de un troquel para corte y perforado</i>	14
<i>Figura 4. Operaciones de corte por troquel.</i>	16
<i>Figura 5. Esfuerzos del corte en troquel.</i>	16
<i>Figura 6. Pasos en el cizallamiento del metal.</i>	16
<i>Figura 7. Grafico para Determinar el juego entre Punzón y Matriz.</i>	18
<i>Figura 8. Vista Ampliada del borde de la pieza obtenida</i>	19
<i>Figura 9. Vistas Ampliadas del proceso de corte con juego insuficiente (izq.) y excesivo (der.)</i>	19
<i>Figura 10. Tira de recorte con disposición normal.</i>	20
<i>Figura 11. Tira de recorte con disposición oblicua.</i>	20
<i>Figura 12. Tira de recorte con disposición invertida.</i>	20
<i>Figura 13. Corte de piezas en disposición simple.</i>	20
<i>Figura 14. Corte de piezas en disposición múltiple.</i>	21
<i>Figura 15. Distancia mínima puntual entre piezas.</i>	21
<i>Figura 16. Distancia mínima lo largo de una línea.</i>	21
<i>Figura 17. Diferentes cálculos del paso.</i>	22
<i>Figura 18. Detalle de actuación de la fuerza de extracción</i>	25
<i>Figura 19. Detalle de recorte con mucho material alrededor.</i>	25
<i>Figura 20. Detalle de recortes con entrantes</i>	25
<i>Figura 21. Detalle de recorte con dimensiones mínimas de material sobrante</i>	26
<i>Figura 22. Detalle de actuación de la fuerza de expulsión</i>	26
<i>Figura 23. Placa Matriz</i>	27
<i>Figura 24. Maneras correctas e incorrectas de unión de matrices</i>	28
<i>Figura 25. Distancias mínimas C y B para varios contornos de agujero de matriz.</i>	29
<i>Figura 26. Detalle de ensanchamiento de la matriz.</i>	29
<i>Figura 27. Detalle diferentes terminaciones de los punzones.</i>	30
<i>Figura 28. Detalle de corte en forma de tijera.</i>	31
<i>Figura 29. Portapunzones de un solo punzón.</i>	33
<i>Figura 30. Detalle de un piloto.</i>	34
<i>Figura 31. Disposición de la regla posterior y anterior en una matriz de perforar y recortar.</i>	35
<i>Figura 32. Distancias A recomendadas para alimentaciones manual y mecánica.</i>	35
<i>Figura 33. Alturas de reglas anteriores para distintos espesores.</i>	36
<i>Figura 34. Tope de perno.</i>	37
<i>Figura 35. Topes de gatillo. (A) enganche arriba del material; (B) enganche abajo del material.</i>	37
<i>Figura 36. Tope manual (A) en posición para detener la tira en la primera operación.</i>	38
<i>Figura 37. Tope manual retirado permitiendo el paso de la tira hasta el tope automático.</i>	38
<i>Figura 38. Tipos de topes manuales.</i>	38
<i>Figura 39. Diseño de topes automáticos.</i>	39
<i>Figura 40. Aberturas de punzón en la placa expulsora.</i>	40
<i>Figura 41. Detalle extractor elástico.</i>	41
<i>Figura 42. Catalogo FIBROFLEX - Muelle redondo 90 Shore A, para DIN ISO 10069-1</i>	42
<i>Figura 43. Casquillos y bridas del armazón.</i>	43
<i>Figura 44. Columnas guía del armazón.</i>	44
<i>Figura 45. Prensa de excéntrica</i>	45
<i>Figura 51. Componentes de una prensa troqueladora excéntrica.</i>	45
<i>Figura 47. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto.</i>	46
<i>Figura 48. Diferentes Tipos de Plataformas fabricadas para Semirremolques</i>	48
<i>Figura 49. Chapa de unión (Chapeta #4)</i>	49
<i>Figura 50. Plano de fabricación de la chapeta #4 izquierda y derecha.</i>	49
<i>Figura 51. Parte Fija del troquel</i>	50

<i>Figura 52. Configuración Modular de la Matriz .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 53. Parte Móvil del troquel .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 54. Calculo del tiempo de taladrado, software Walter Machining Calculator .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 55. Esquema del diseño propuesto. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 56. Posibles distribuciones de la chapeta en la tira de material. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 57. Coordenadas de los centros de gravedad de cada punzón. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 58. Coordenadas del Centro de Presión del troquel .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 59. Configuración de la matriz. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 60. Casquillo o inserto de perforación. ....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 61. Configuración de los punzones.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 62. Punzón perforador. ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 63. Guías de la tira de material.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 64. Disposición de los topes manuales y automáticos. ....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 65. Sistema de extracción mediante placa pisadora.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 66. Tornillo de hombro. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 67. Sistema de expulsión de la Chapeta. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 68. Porta Troquel. ....</i>	<i>70</i>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores Prácticos de resistencia a cizalladura y tracción, determinados por Schuler. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2. Determinación de los espesores de las placas portapunzones. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3. Análisis del troquel actual, fallas y oportunidades de mejora. ....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4. Aplicaciones de las brocas en los materiales más usuales.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5. Velocidad de Avance (mm/rev).....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 6. Matriz de decisión .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 7. Cálculos de rendimiento de la tira de material .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 8. Comparativo de Tiempos de producción de la Chapeta .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 9. Comparativo Costo de Material por Chapeta .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 10. Desperdicio de Material por Tira de Recorte .....</i>	<i>73</i>



## **RESUMEN**

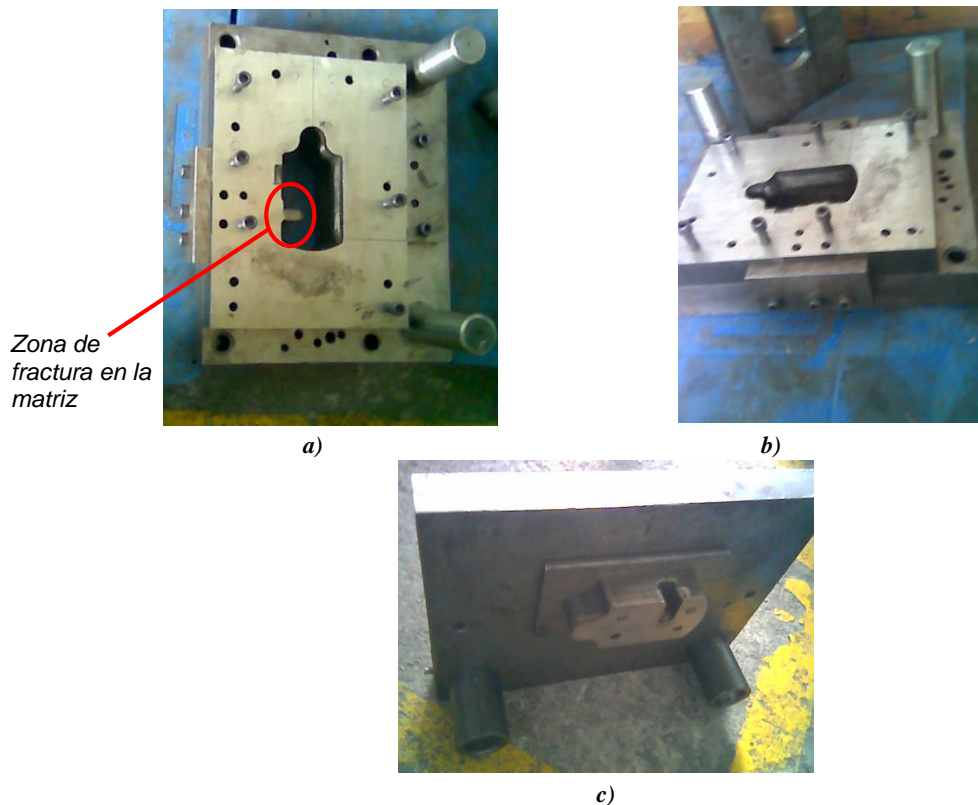
Considerando las dinámicas de un mercado globalizado, las organizaciones industriales generadores de bienes requieren para ser competitivos una sostenida mejora de sus procesos. En este sentido, varios procesos de manufactura, tales como: soldadura o procesos por arranque de viruta, entre otros, empleados en la fabricación de gran cantidad de piezas de chapa metálica, han sido actualizados o reemplazados por procesos integrados de formado y troquelado en la procura de incrementar el rendimiento de la producción. Así, el presente proyecto de grado se centra en el diseño de un troquel para la fabricación de las chapetas de unión #4 empleadas en las carrocerías de semirremolques. Con este objetivo, se plantea un procedimiento de diseño que integra varias teorías y herramientas en dos fases principales, diseño básico y diseño de detalle, conducente a la especificación de los diferentes componentes del troquel, organizados en 5 capítulos. De esta forma, este trabajo procura aportar en la maduración de esta tecnología en nuestra región con impactos positivos en la productividad de las chapetas metálicas.

## ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

Las aplicaciones del troquelado son diferentes y variadas, tales como la producción de ollas y cacerolas, cuchillos, tenedores y cucharas, producción de tapas metálicas para conservas de alimentos, producción de autopartes, puertas, entre otras. A nivel nacional, con el desarrollo del sector industrial se ha incentivado la aplicación de este proceso manufactura en la producción de una amplia variedad de artículos metálicos que han permitido ser competitivos frente a productos importados o elaborados considerando procesos convencionales, tales como: soldadura y mecanizado.

Según [1], el estampado, o troquelado, se define como aquel conjunto de operaciones con las cuales, sin producir virutas, sometemos una chapa plana a una o más transformaciones, con el fin de obtener una pieza con forma geométrica propia. Por tanto, en este proceso de fabricación se aplican grandes fuerzas por herramientas para prensas durante un corto intervalo de tiempo, lo cual resulta en el corte (cizallado) o deformación del material de trabajo [2].

Actualmente, una de las empresas de construcción de remolques, semirremolques y vagones para vehículos de carga pesada en nuestra región, emplea las técnicas de troquelado para la producción de la gran variedad de piezas de lámina metálica que son requeridas en la elaboración de sus productos. Dentro de estas piezas se encuentra la chapeta #4, la cual es una chapa de acero A-36 calibre 10 empleada como elemento de unión de los paneles laterales en las carrocerías de estacas para semirremolques.



*a) Vista superior de la base inferior o porta matrices, b) vista en perspectiva de la base inferior, c) vista en perspectiva de la placa superior o porta machos.*

*Figura 1. Fotografías del troquel original.  
Fuente: Autor*

Tradicionalmente, esta pieza se fabrica con un troquel simple para el corte de su contorno. Posteriormente, el material base es perforado usando un taladro de árbol. Finalmente, se realiza un doblez mediante una prensa hidráulica. En este proceso de fabricación actualmente presenta varios inconvenientes que incrementan el mantenimiento y afectan negativamente la calidad del producto, tales como: el troquel empleado para el contorno presenta constantes fracturas en la hembra o matriz de corte (*Figura 1a y 1b*), el material base frecuentemente presenta rebaba en los cortes, presencia de deformación plástica no deseada, tiempos prolongados de producción e imprecisión en la ubicación y dimensión de los agujeros, entre otros.

Basado en lo expuesto anteriormente, este proyecto de grado aborda la minimización de los inconvenientes mencionados y favorecer el corte y perforado de la pieza, adaptándose a la prensa disponible para este proceso. Para esto, se plantea el diseño de un troquel para la producción de la chapeta #4 izquierda y derecha, el cual debe solucionar los inconvenientes del troquel original.

De acuerdo a la búsqueda de información realizada, en la Universidad del Valle se han realizado un bajo número de trabajos referentes al diseño y construcción de troqueles, los cuales se han dirigido principalmente a la obtención de piezas simples con el objetivo de mostrar las partes que constituyen dichos herramentales y sus diferentes usos. En [3] se presenta el diseño de un troquel para la fabricación de arandelas enfocándose en todos los aspectos teórico – prácticos que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar este tipo de herramentales. De igual manera se tienen dos trabajos dirigidos a la obtención de guías o instructivos para el diseño de troqueles, en donde se registran datos teóricos muy importantes sobre esta técnica [4] [5].

En la Universidad Autónoma de Occidente se evidencio la realización de dos trabajos de grado sobre este tema. En el primero de ellos se diseña un troquel de corte fino para la obtención de cuchillas de afeitar con el fin de describir una guía general para el diseño y construcción de troqueles [6]. En el segundo, se desarrolla una metodología para el diseño de troqueles utilizando elementos estándar y, adicionalmente, hace un aporte muy importante en cuanto a la aplicación de resortes cilíndricos en goma o poliuretano de alta elasticidad como reemplazo de los resortes helicoidales necesarios para la expulsión de las piezas [7].

A nivel internacional, se encuentran manuales [8] [9] que proporcionan los principales cálculos y procedimientos necesarios para el troquelado. En México, se encuentran cuatro trabajos de grado sobre troquelado; [10] y [11] presentan el desarrollo de un troquel progresivo para la obtención de apagador de aluminio y caratulas de pedales, respectivamente; en [12] se diseña un troquel compuesto de corte y embutido para la producción de una tapa y en [13] se diseña un troquel progresivo con fines didácticos. Existen además memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM (Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica) donde se presenta un trabajo centrado en el estudio y análisis de troqueles de corte fino y su diseño por medio de programas CAD tridimensionales [14].

También se encuentran artículos publicados por la IJES (International Journal Of Engineering And Science), la IJRET (International Journal of Research in Engineering and Technology) y el XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica en España, donde se muestra el diseño de un troquel combinado para una cuchilla trilladora de arroz [15], diseño y análisis de un troquel de punzonado [16] y una aplicación al modelado de un troquel de corte y punzonado [17], todos estos a la aplicación de herramientas CAD/CAM y CAE.

Si bien la metodología del diseño de troqueles se presenta con pocas alteraciones de un trabajo a otro, la explicación de los soportes de diseño ofrece poca claridad. Por tanto, este proyecto de grado procura brindar una solución a una necesidad real con un aporte en el conocimiento en el proceso de manufactura por troquelado.

## **OBJETIVOS**

### General

Diseñar un troquel progresivo para el corte y perforado de la chapeta #4, empleada como elemento de unión de los paneles laterales en las carrocerías de estacas para semirremolques.

### Específicos

1. Análisis funcional del troquel original y evaluación del proceso de producción para establecer los requisitos del rediseño.
2. Diseñar los componentes de un troquel progresivo de acuerdo los requisitos definidos anteriormente.
3. Elaborar un análisis de costos de la solución planteada.

## CAPITULO 1. MARCO TEORICO

En este capítulo se presentan las bases teóricas necesarias para el correcto desarrollo del proyecto. Se inicia con un planteamiento de los aspectos fundamentales del troquelado y estampado de metales para luego centrarse en el proceso de punzonado o corte, donde se desglosan los conceptos y herramientas necesarias para el cálculo y diseño de cada una de las partes del troquel.

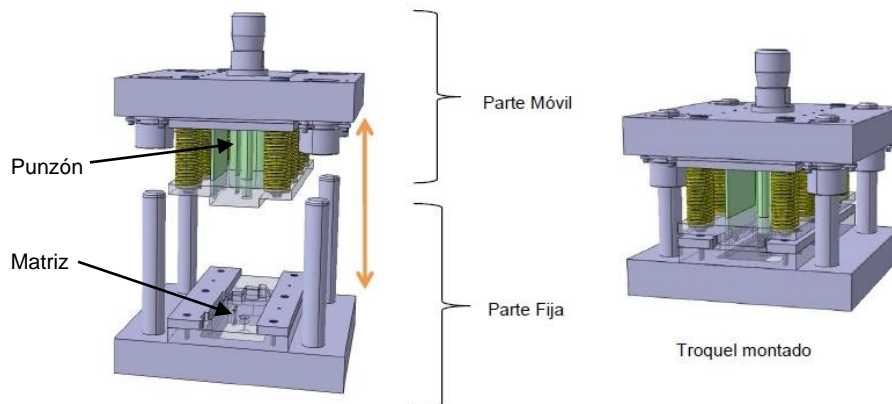
### TROQUELADO Y ESTAMPADO DE METALES

La producción de elementos de lámina estampada es uno de los procesos más importantes en el campo industrial de la producción en serie por las ventajas que ofrece, tales como altos estándares de calidad y homogeneidad en la producción. Adicionalmente, sustituye o reduce la soldadura, tornillos, tuercas y remaches de una pieza, haciendo que en lugar de muchas piezas unidas se obtenga una sola integral, siendo una de las ventajas más importantes del proceso: la simplicidad de la pieza, la ligereza y la mayor resistencia mecánica, además de la gran capacidad de producción y el bajo costo unitario.

En términos generales, el troquelado es un método para trabajar láminas metálicas en frío, en forma y tamaño predeterminados, por medio de un troquel y una prensa. El troquel determina el tamaño y forma de la pieza terminada y la prensa suministra la fuerza necesaria para efectuar el cambio [18].

Cada troquel está, especialmente, construido para la operación que va a efectuar y no es adecuado para otras operaciones. El troquel tiene dos mitades componentes, entre las cuales se coloca la lámina metálica. Cuando los dos componentes del troquel se juntan se lleva a cabo la operación. Normalmente, la mitad superior (parte móvil) del troquel es el punzón y la mitad inferior es la matriz (la parte fija). Cuando las dos mitades del troquel se juntan, el punzón entra en la matriz [18].

Como consecuencia de lo anterior, se produce el corte, embutición o doblado, según sea el caso, del material que se ha interpuesto entre ambas piezas.



*Figura 2. Vista en perspectiva de un troquel completo*

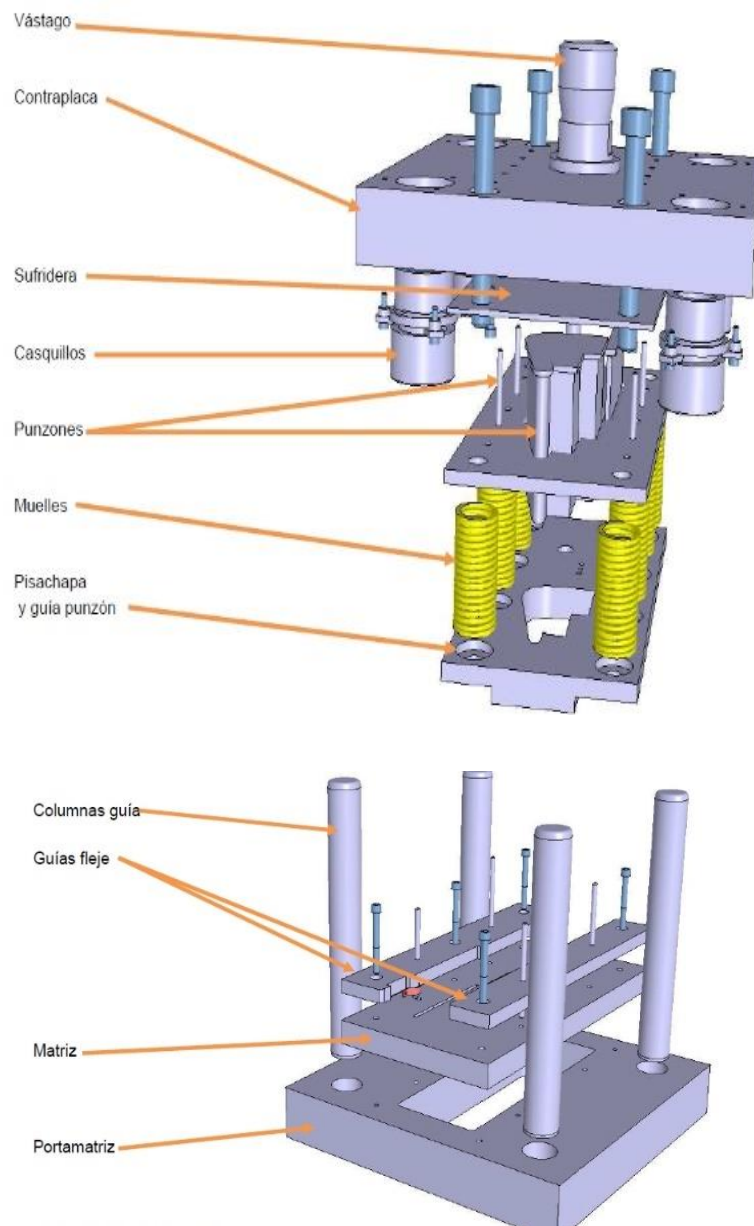
*Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>*

Los troqueles se clasifican generalmente de acuerdo a su operación sobre la chapa metálica en:

- **Troqueles para cortar.** Este tipo de herramienta efectúa su trabajo mediante la acción de cizalla o corte, incluyen las matrices de separar y cizallar, las de recortar, punzonar, cepillar, rebordear y cantear. Estas últimas se aplican para lograr determinado contorno mediante una serie de golpes.

- **Troqueles para dar forma.** Actúan sobre el material en bruto o sobre piezas transformadas previamente, mediante operaciones que modifican la forma de una sección o de toda la pieza, sin presentarse embutición ni cambio en el espesor del material, tales como curvado, plegado, aplanado, etc.
- **Troqueles para embutir.** Estos herramientas producen la forma del material por embutido de la pieza plana de metal en un molde tubular o de otra forma bajo la acción que obliga a fluir al material por efecto de la tensión. A este grupo hacen parte las matrices de ahuecar, embutir, reducir y ensanchar.

En la *Figura 3* se muestran las partes que componen un troquel de corte y perforado.



*Figura 3. Despiece de un troquel para corte y perforado*  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Así mismo, los troqueles pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- **Simple:** cuando en un solo golpe realizan la operación correspondiente sobre la pieza.
- **Progresivos:** cuando contienen una serie de pasos que realizan operaciones sucesivas en cada golpe, transformando progresivamente el material hasta obtener la pieza final a medida que avanza a través del troquel. Esta característica descarta el uso de varios troqueles simples.
- **Combinados:** cuando, al igual que los progresivos, tienen una acción mixta sobre el material, pero con los componentes combinados de tal forma que desarrolla una acción simultánea sobre la pieza sin necesidad de repetición.

## EL PUNZONADO O CORTE

El punzonado es una operación mecánica con la cual, mediante herramientas especiales aptas para el corte, se consigue separar una parte metálica de otra obteniéndose instantáneamente una figura determinada [1], además es, en general, la primera operación que se realiza para la obtención de piezas de lámina. Con el punzonado se elimina la necesidad de repetir el recortado a mano y se realiza la operación de un modo rápido y sencillo, pudiéndose confiar a operarios no especializados.

Las operaciones de corte en troquel se clasifican de la manera siguiente:

*Perforado* o punzonado (*Figura 4A*) es la operación en la cual un punzón redondo (o de otro contorno) corta un agujero en el material de trabajo que es soportado por una matriz que tiene una abertura correspondiendo, exactamente, con el contorno del punzón. El material cortado del material de trabajo es, con frecuencia desperdicio.

*Corte de piezas* (*Figura 4A*) difiere, fundamentalmente, del perforado sólo en que la parte cortada del material es la utilizable, convirtiéndose en una pieza para operaciones subsecuentes de troquelado u otros procesos.

*Lanceteado* que combina el corte y doblado a lo largo de una línea en el material de trabajo. Esta operación no produce material separado y deja una parte doblada, o apéndice, sujeta al material de trabajo (*Figura 4B*).

*El troceado* es una operación que realiza la separación completa del material de trabajo cortándolo a lo largo de líneas curvas o rectas (*Figura 4C*)

*El recortado* es una operación de cizallado o corte secundario en la cual la superficie de un borde cortado, previamente, a una pieza se termina o hace tersa. La holgura del troquel de recortar es, considerablemente, menor que la de los otros troqueles de cortar, permitiendo que se corte con limpieza una parte de tal superficie de la pieza. [2]

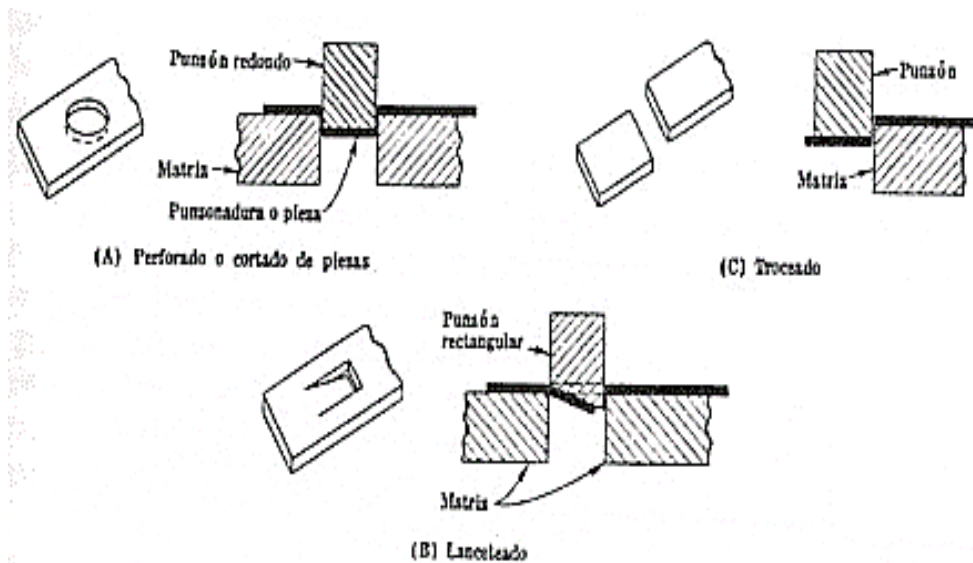


Figura 4. Operaciones de corte por troquel.  
Fuente: Principios Fundamentales para el Diseño de Herramientas

#### Descripción del proceso de corte por troquel

El corte del metal entre los componentes del troquel es un proceso de cizallamiento en el cual el metal es sometido a esfuerzos tanto de tensión como de compresión, empezando con la producción de un alargamiento más allá del límite elástico hasta llegar a la fractura total a través de planos de desprendimiento en el área reducida [2].

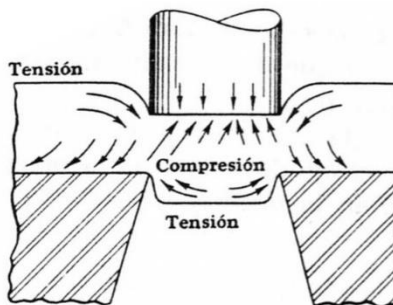


Figura 5. Esfuerzos del corte en troquel.  
Fuente: Principios Fundamentales para el Diseño de Herramientas

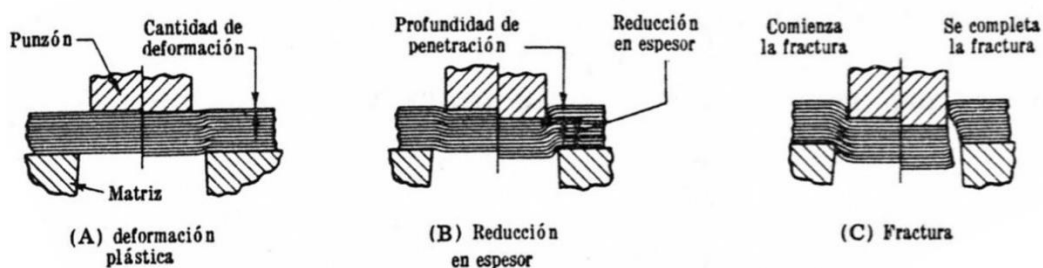


Figura 6. Pasos en el cizallamiento del metal.  
Fuente: Principios Fundamentales para el Diseño de Herramientas



La parte superior del troquel empieza su desplazamiento descendiente y el borde del punzón ejerce una presión sobre la lámina penetrándola una mínima distancia. En este punto, el material comprendido entre la parte superior de la lámina y el borde cortante del punzón está sometido a tensión y se ha estirado, mientras que el material comprendido entre los filos del punzón y la matriz esta comprimido (*Figura 5*). El estirado continúa más allá del límite elástico del material, forzando una porción de la lámina en el interior de la matriz con lo cual se da lugar a una deformación plástica (*Figura 6A*). Esta penetración ocurre antes de que comience la fractura y reduce el área transversal del metal que está siendo cortado (*Figura 6B*). Luego, el punzón, encontrando libre el camino en la matriz, prosigue su acción ocasionando el origen de grietas en el material en planos de fisura contiguos a la esquina de cada filo. El descenso continuado hace que estas grietas se prolonguen hasta encontrarse (*Figura 6C*); esta es la razón de que la holgura entre punzón y matriz sea de gran importancia, ya que si las grietas no se encuentran producirán bordes incorrectos en la pieza.

En el avance siguiente de penetración, el esfuerzo de compresión supera la resistencia a la cortadura del material y sobreviene un brusco desgarro ocasionando que el trozo de lámina sujeto al punzón se separe del resto de la tira. Esta separación se produce cuando el punzón ha penetrado aproximadamente  $1/3$  del espesor de la tira. Como las fibras quedan deformadas y comprimidas a lo largo de todo el perfil cortado, se presenta una adhesión en el momento que se empuja la pieza en el agujero de la matriz; el retal cortado tiende a aumentar su superficie, pero lo impiden las paredes de la matriz, e inversamente, el material situado alrededor del punzón tiende a juntarse y, por consiguiente, la tira se presiona alrededor del punzón. Como es natural, tal frotamiento dificulta la salida del retal cortado de la matriz y la extracción del punzón del agujero de la lámina, haciendo necesario que el punzón penetre completamente para empujar el retal y el empleo de un extractor para separar la tira del punzón [2] [19].

Existe una relación mínima entre el diámetro de la pieza cortada  $d$  y el espesor de material  $e$ ; cuando el espesor de la lámina que se ha de cortar es superior al diámetro del punzón, la resistencia de corte es superior al esfuerzo que puede soportar el punzón, originándose la rotura de éste. En estas condiciones puede admitirse que el espesor de la lámina debe ser igual o menor que el diámetro del punzón. Se ha hallado teórica y prácticamente que la relación  $d/e$  entre el espesor y el diámetro debe ser de 1,2. Lo expresado anteriormente se refiere exclusivamente a lámina de hierro y punzones de acero templado. Fácilmente se comprende que, al reducirse la resistencia del material cortado, esta condición límite puede mejorarse [1] [20].

#### *Holguras entre punzón y matriz*

La razón de fabricar los troqueles con la holgura indicada viene impuesta corrientemente por la necesidad de reducir, en lo posible, la presión requerida para el corte. Esta holgura afecta también notablemente la uniformidad de las fracturas obtenidas, como se indicará más adelante. La presión es máxima cuando el diámetro del punzón es pequeño con relación a la sección del material, pero esta presión puede ser alterada según la holgura admitida. Sin embargo, las holguras tienen un punto crítico, en el cual proporcionan el máximo rendimiento dando piezas de bordes muy limpios con un esfuerzo razonable; fuera de este punto crítico, la presión requerida aumenta notablemente y el corte es defectuoso [19].

La exactitud de las piezas obtenidas mediante el punzonado depende, en primer lugar, de la precisión con que se hayan construido las matrices. La holgura entre el punzón y la matriz depende del grueso de la chapa y de la calidad del material, que podrá ser duro, dulce o blando. Para punzones pequeños, agujereando chapa de espesor limitado, el juego no debe existir prácticamente; pero teniendo que trabajar chapas de elevado espesor, el juego debe ser apreciable [1].

El valor del juego entre el punzón y la matriz es muy variable, desde el 5 hasta el 13% del espesor de la chapa, según Rossi; en cambio, en Inglaterra es norma general adoptar para el latón  $0,05 \times e$ , siendo  $e$  el espesor del material; de  $0,07 \times e$ , para el hierro dulce, y de  $0,10 \times e$  para un acero dúctil. En algunos casos, se reducen estas cifras, pero parece que, en general, la práctica ha demostrado que los valores indicados son correctos y proporcionan cortes limpios y precisos [20].

Adicionalmente, suelen emplearse los valores de juego que se indican en tablas o diagramas (Figura 7) obteniendo excelentes resultados.

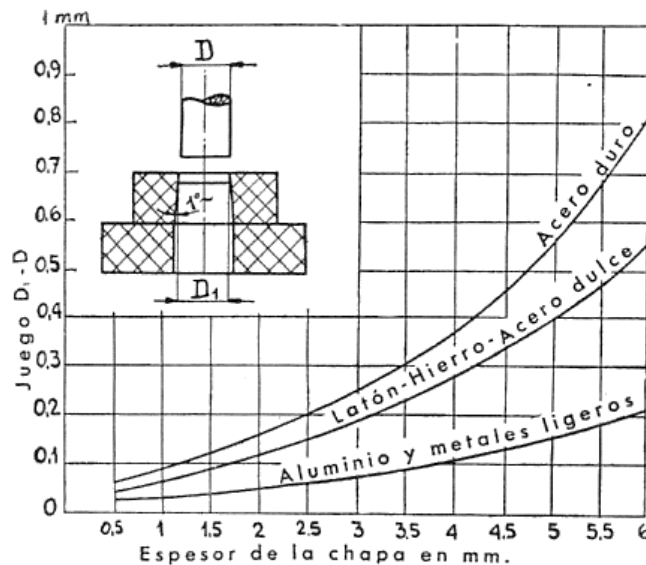


Figura 7. Gráfico para Determinar el juego entre Punzón y Matriz.  
Fuente: Estampado en Frío de la Chapa

Es evidente que las holguras, según sean agregadas a la matriz o deducidas del punzón, afectarán las piezas fabricadas. Si el contorno exterior de la pieza debe ser exacto, la holgura deberá ser deducida del punzón, dejando la matriz con sus dimensiones exactas. Por el contrario, si se trata de un contorno interior, la tolerancia debe ser sumada al contorno de la figura matriz, dejando el punzón con sus dimensiones exactas.

Después del corte, y bajo la aplicación de una holgura correcta, el borde de la pieza y el borde de la tira tienen contornos idénticos pero invertidos, cuya geometría se representa en la Figura 8. El extremo superior está definido por un pequeño radio  $R$ , que depende del espesor y la dureza de la tira y además del afilado del punzón y la matriz. Alrededor de la periferia de la pieza se encuentra una franja lisa, recta y pulida, cuya longitud  $D$ , es aproximadamente  $1/3$  del espesor  $e$  del material cuando se tiene una matriz correctamente afilada. Los  $2/3$  restantes presentan una superficie áspera e inclinada, cuya extensión está dada por la distancia  $B$ , equivalente a la separación entre matriz y punzón. En esta zona es donde se producen las rebabas cuando el juego matriz – punzón no es apropiado y también cuando los filos están gastados o redondeados [19].

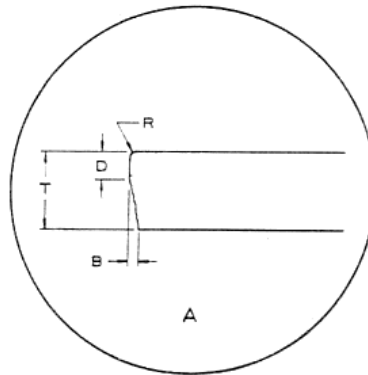


Figura 8. Vista Ampliada del borde de la pieza obtenida  
Fuente: Diseño de Matrices

Cuando el juego es insuficiente se requiere mayor presión para producir la pieza, el radio **R** y el ángulo de rotura determinado por **B** son menores, y se forma una doble banda lisa **D** sobre el borde de la pieza. Este último fenómeno es debido a que, en la penetración del punzón en la matriz, las grietas correspondientes a cada uno no se encuentran cuando se prolongan, haciendo necesaria la presencia de una segunda fractura para romper la superficie no cortada. (Figura 9 Izquierda) [19]

Cuando la holgura es excesiva el radio **R** es considerablemente mayor, la parte lisa **D** es más estrecha, el ángulo de rotura **B** es mayor y además queda una rebaba **C** en la pieza (Figura 9 derecha). En este caso las presiones requeridas para el corte del material son menores, por lo cual se suele emplear mayor separación cuando se fabrican piezas de gran tamaño [19].

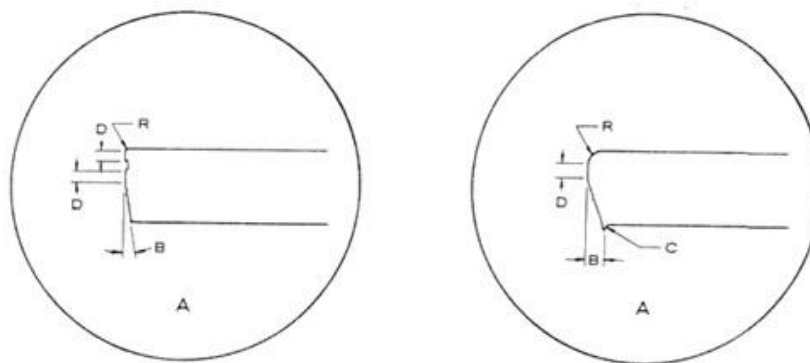


Figura 9. Vistas Ampliadas del proceso de corte con juego insuficiente (izq.) y excesivo (der.)  
Fuente: Diseño de Matrices

#### La Tira de recorte

La preparación de tiras de material que tengan sobremedida insuficiente entre la pieza a cortar y el borde de la tira y entre partes a cortar, resultará en tiras débiles, sujetas a rotura y causando por eso avances defectuosos. Tales dificultades causarán un mantenimiento innecesario del troquel debido a los cortes parciales que hacen que se flexionen los punzones, resultando en el mellado de los bordes [2].

Es por esto, que lo primero que se debe hacer, antes de diseñar los componentes propios del troquel, es definir la distribución de las piezas a obtener dentro de la tira de material, además, es fundamental para aprovechar al máximo el material.

La elección de tal disposición depende de varios factores a tener en cuenta [21] :

- a) Silueta exterior de la pieza y su disposición sobre el fleje, la cual puede ser: normal, oblicua o invertida.

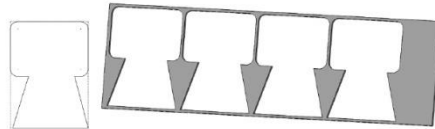


Figura 10. Tira de recorte con disposición normal.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>



Figura 11. Tira de recorte con disposición oblicua.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

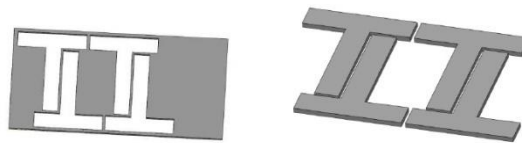


Figura 12. Tira de recorte con disposición invertida.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

- b) Disposición según la importancia de la serie.

Teniendo en cuenta la cantidad de piezas a construir se pueden emplear dos disposiciones: simple y múltiple.

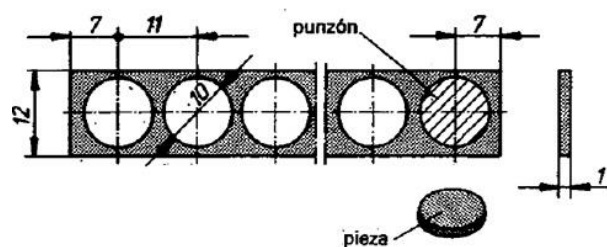


Figura 13. Corte de piezas en disposición simple.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

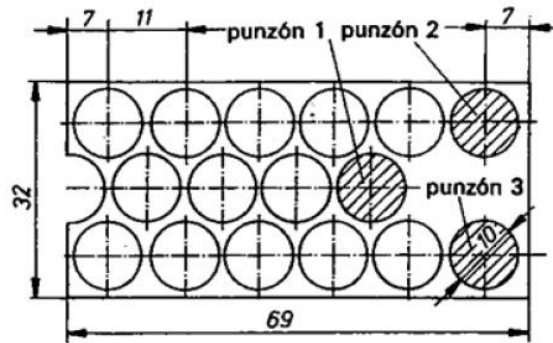


Figura 14. Corte de piezas en disposición múltiple.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

c) Separación mínima entre piezas y lado del fleje.

Al establecer la sucesión de figuras cortadas es preciso tener en cuenta que hay que dejar cierta separación entre figura y figura, para evitar cortes defectuosos, piezas desechadas y atascos. Se suele dar como separación mínima entre dos figuras cortadas ( $S$ ) y entre una figura y el borde del fleje ( $S'$ ), una distancia igual al grueso de la chapa cuando se da tan sólo en puntos aislados.

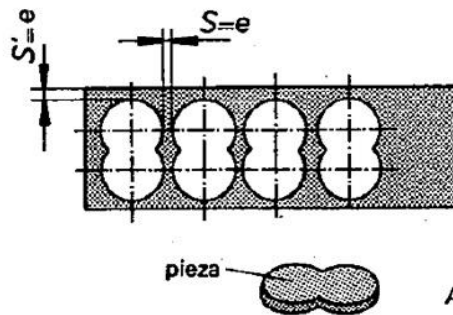


Figura 15. Distancia mínima puntual entre piezas.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Cuando la distancia mínima se da en una larga línea, conviene aumentar la separación, para evitar que el retal se retuerza y atasque el paso de la cinta o, al menos, no la deje correr uniformemente, dando piezas defectuosas. En este caso, esta distancia será igual a 1,5 veces el espesor de la chapa.

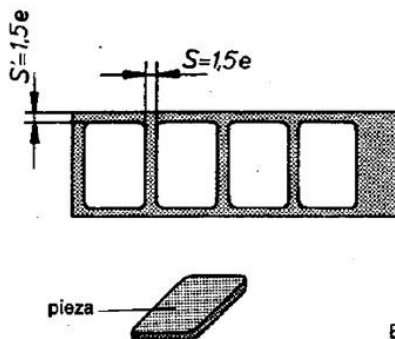


Figura 16. Distancia mínima lo largo de una línea.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Si el troquel tiene sistema de presado de chapa, el peligro de la deformación es menor, sin embargo, en ningún caso la separación será menor de 1mm, aun para chapas muy finas.

d) Distancia de una pieza a otra consecutiva (paso)

Se denomina paso de una matriz al avance que hace la tira o fleje de chapa a cada golpe de prensa, en cada pieza o grupo de piezas cortadas, o también a la distancia que hay entre dos puntos homólogos de dos piezas consecutivas.

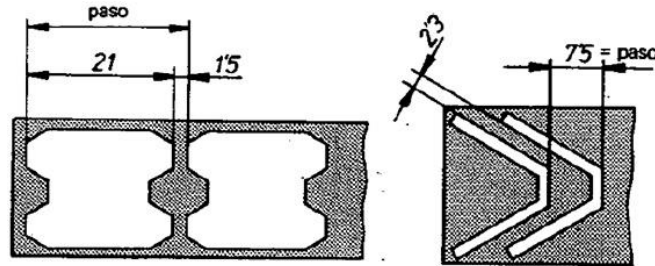


Figura 17. Diferentes cálculos del paso.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Téngase en cuenta que la distancia mínima,  $S$  y  $S'$ , se entiende en dirección perpendicular a la línea de corte y por tanto la separación longitudinal, a veces, resultara mayor.

#### Cálculos

Además del paso y las distancias mínimas al borde de la tira, tenemos la distancia mínima desde el borde del fleje más la primera pieza sacada, " $X$ ", a considerar para sacar el rendimiento de una configuración.

Teniendo en cuenta estas distancias se puede determinar la posición, dentro del fleje, más económica para la pieza. Se puede calcular:

- El ancho de banda ( $B$ ).
- El paso ( $P$ ).
- La entrada ( $X$ ).
- El número de piezas por tira ( $Np$ ), dado por:

$$Np = \frac{\text{Long. Tira} - X}{P} + 1 \quad (\text{Ecuación 1}) [21]$$

- El rendimiento ( $R$ ) que será el porcentaje de superficie usada (sin contar los retales) de la tira.

$$R(\%) = \frac{\text{Área Pieza} \times Np \times 100}{\text{Área Tira}} \quad (\text{Ecuación 2}) [21]$$

### *Determinación de las fuerzas producidas en el proceso de corte y punzonado.*

#### *Fuerza de corte*

Por lo que se ha descrito, durante la carrera de troquelado, el punzón desarrolla un esfuerzo para vencer la resistencia opuesta por la estructura molecular del material; después, al desaparecer este esfuerzo, aparece otro proveniente de las tensiones elásticas del material, que es notablemente enérgico y se desarrolla sin fenómeno alguno de cizalladura; cabe sumar a este esfuerzo el de la resistencia opuesta a la expulsión por las piezas cortadas, como se describió anteriormente. El tercer esfuerzo, ya decreciente, es el originado por fricciones en el final de la carrera de penetración del punzón.

Las presiones de corte necesarias dependen fundamentalmente de la resistencia al cizallado del material. Cuando se desconoce este valor, puede tomarse la resistencia a la rotura por tracción, dato que suele ser suministrado por los fabricantes. Sin embargo, el tonelaje obtenido con el empleo de este dato suele ser algo inferior al que se obtiene aplicando el valor de la resistencia de cizalladura.

La magnitud de la fuerza de corte, conocido cualquiera de los dos valores, se encuentra en función de la periferia de la pieza cortada y del espesor del material. Denominando

$F$  = Fuerza de corte kg  
 $l$  = desarrollo de la periferia de la pieza a cortar en mm  
 $e$  = espesor de la tira cortada en mm  
 $K_s$  = resistencia a la cizalladura en kg/mm<sup>2</sup>

*Se tiene*

$$F[kg] = l \times e \times K_s \quad (\text{Ecuación 3}) [20]$$

Para la aplicación de esta fórmula, tenemos que tener en cuenta que la capacidad de la prensa que se emplee no debe ser exactamente igual a la fuerza de corte, sino que debe haber cierto margen, en razón de los rozamientos y demás resistencias pasivas. [22]

Si la pieza tuviese perforaciones o figuras interiores recortadas que estuvieran hechas en una misma operación, deberán hallarse todos los valores parciales y sumarlos para determinar el esfuerzo de corte total. En la *Tabla 1* se dan valores prácticos dados por Schuler, para las resistencias a la cizalladura y a la tracción de diversos materiales [20].

Material	Resistencia al cizallado en Kg/mm <sup>2</sup>		Resistencia rotura a tracción en Kg/mm <sup>2</sup>	
	Dulce	Duro	Dulce	Duro
Plomo .....	2-3	—	25-4	—
Estaño .....	3-4	—	4-5	—
Aluminio .....	7-11	13-16	8-12	17-22
Aluminio duro .....	22	38	26	48
Zinc .....	12	20	15	25
Cobre .....	12-18	25-30	22-28	30-40
Latón .....	22-30	35-40	28-35	40-60
Bronce laminado .....	32-40	40-60	40-50	50-75
Chapa de hierro .....	—	40	—	45
Chapa de Fe embutible .....	30-35	—	32-38	—
Chapa de acero .....	45-50	55-60	—	60-70
Acero con 0,1% C .....	25	32	32	40
» con 0,2% C .....	32	40	40	50
» con 0,3% C .....	36	48	45	60
» con 0,4% C .....	45	56	56	72
» con 0,6% C .....	56	72	72	90
» con 0,8% C .....	72	90	90	110
» con 1 % C .....	80	105	100	180
» al silicio .....	45	56	55	65
» inoxidable .....	52	56	65-70	—

Tabla 1. Valores Prácticos de resistencia a cizalladura y tracción, determinados por Schuler.  
Fuente: Troquelado y estampación

**Métodos de reducción de las presiones de corte.** Puesto que las operaciones de corte se caracterizan por fuerzas muy elevadas ejercidas sobre periodos de tiempo muy pequeños, es algunas veces deseable reducir la fuerza y dispersarla sobre una gran parte de la carrera de la prensa. El contorno de un punzón de gran perímetro o muchos punzones pequeños requerirán, en la mayoría de los casos, de una capacidad de tonelaje mayor al de la prensa disponible. Además, siempre que se concentran requerimientos de tonelaje anormalmente grandes sobre un área pequeña, incrementan las dificultades de diseño.

Para reducir las fuerzas de corte y suavizar el choque de impacto de cargas pesadas se emplean generalmente dos métodos [2]:

1. Escalonar las longitudes del punzón como se muestra en la *Figura 19*, de esta manera la carga puede ser reducida hasta en un 50% aproximadamente. Los punzones más delgados deberán ser más cortos que los grandes en una cantidad igual al espesor del material a cortar.
2. Rectificar la cara del punzón o la matriz a un ángulo de corte más pequeño con la horizontal. Esta acción reduce el área de corte en cualquier tiempo y puede disminuir las cargas de corte hasta un 50%. El ángulo escogido deberá proporcionar un cambio en la longitud del punzón de 1.5 veces el grosor del material a cortar.

#### Fuerza de extracción

Es la fuerza necesaria para separar el recorte de la pieza que queda sujeta a los punzones. Al final de cada operación, en los trabajos de corte, el punzón arrastra en la carrera de retroceso la tira en la cual ha penetrado, quedando sujeta al punzón. Esta sujeción es tanto más fuerte, cuanto mayor es la sección cizallada y cuanto mayor sea la cantidad de material sobrante alrededor de la pieza cortada.



La fuerza de extracción del fleje del punzón se da en función de la dimensión de material sobrante y en tanto por cierto relativo al esfuerzo de corte (fuerza de corte).

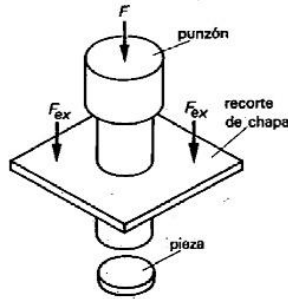


Figura 18. Detalle de actuación de la fuerza de extracción  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Casos:

Cuando el recortado es en plena chapa y queda mucho material alrededor.

$$F_{ex.} = 7\% * F \quad (\text{Ecuación 4})$$

Siendo:

$F_{ex.}$ , la fuerza de extracción en Kgf

$F$ , fuerza de corte en Kgf

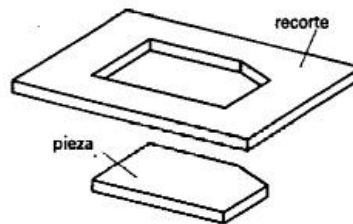


Figura 19. Detalle de recorte con mucho material alrededor  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Cuando el recorte es sólo importante por algunos lados, o si la pieza presenta entrantes.

$$F_{ex.} = 4\% * F \quad (\text{Ecuación 5})$$

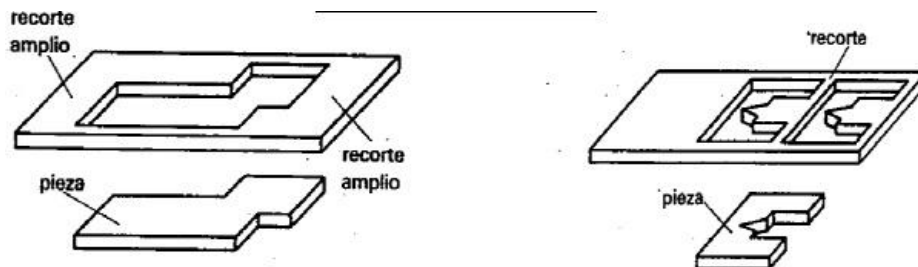


Figura 20. Detalle de recortes con entrantes  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Cuando el material sobrante tiene las dimensiones mínimas normalizadas.

$$F_{ex.} = 2\% * F \quad (\text{Ecuación 6})$$

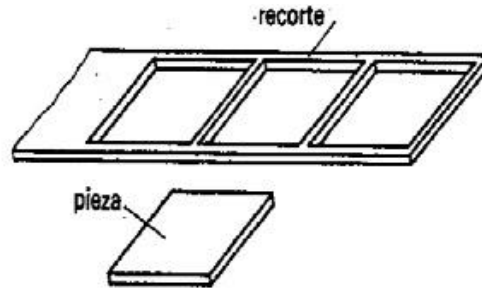


Figura 21. Detalle de recorte con dimensiones mínimas de material sobrante  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

### Fuerza de expulsión

Es el esfuerzo que hay que hacer para que salga la pieza de la parte interior de la matriz.

$$F_{exp.} = 1,5\% * F \quad (\text{Ecuación 7})$$

Siendo:

$F_{exp.}$ , la fuerza de expulsión en Kgf

$F$ , la fuerza de corte en Kgf

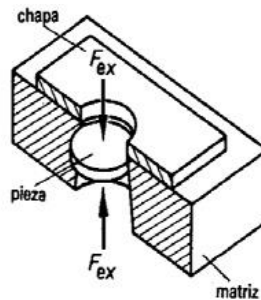


Figura 22. Detalle de actuación de la fuerza de expulsión  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

El cálculo de los esfuerzos de extracción y expulsión sólo queda justificado cuando, para realizar estas fuerzas, se emplean resortes, bloques de caucho o goma. [21]

### Centro de presión

Si el contorno del metal es de forma irregular, la suma de los esfuerzos de cizallamiento sobre un lado del centro del ariete puede exceder en mucho las fuerzas del otro lado. Esto resulta en un momento de flexión en el ariete de la prensa, y una flexión y desalineamiento indeseables. En consecuencia, es necesario encontrar un punto cerca del cual la suma de las fuerzas cortantes sea simétrica. Este punto se conoce como centro de presión y es el centro de gravedad de la línea que es el perímetro del material.

La herramienta de la prensa debe diseñarse para que el centro de presión esté sobre el eje del ariete de la prensa cuando la herramienta esté montada en la misma [2].

Para troqueles con varios punzones, cuya ubicación no es simétrica y/o son de diferentes tamaños, como en el caso de los troqueles progresivos, el centro de presión es de tal importancia para la ubicación de los mismos respecto al ariete de la prensa.

Para el cálculo del centro de presión se utiliza la *teoría de los momentos*, la cual dice que la suma de los productos de las fuerzas por las distancias a los ejes, dividida entre el total de las fuerzas mismas, determinará la posición de las resultantes respecto a los ejes cartesianos X y Y. [7]

$$CP = bx, by \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$CP = \frac{F_1 * bx_1 + F_2 * bx_2 + F_3 * bx_3}{Fr}, \frac{F_1 * by_1 + F_2 * by_2 + F_3 * by_3}{Fr}$$

Donde

CP = Centro de Presión del sistema

bx = Coordenada en el eje X para el centro de Presión

by = Coordenada en el eje Y para el centro de Presión

bx<sub>1</sub>, bx<sub>2</sub>, bx<sub>3</sub>... bx<sub>n</sub> = Coordenada en el eje X para cada punzón

by<sub>1</sub>, by<sub>2</sub>, by<sub>3</sub>... by<sub>n</sub> = Coordenada en el eje Y para cada punzón

F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>... F<sub>n</sub> = Fuerza realizada por cada punzón

Fr = Fuerza resultante, suma de todas las fuerzas de los punzones

#### La placa matriz

La placa matriz o simplemente matriz es una pieza de acero aleado para herramientas y se temple hasta adquirir una gran dureza (60 cifras Rockwell HRC), provista de agujeros, que responden exactamente en forma, tamaño y disposición relativa a los punzones y su distribución en la placa portapunzones y cuya superficie superior, que es la superficie de corte, está rectificad y se va afilando periódicamente cuando así lo exige el desgaste de los filos de corte.

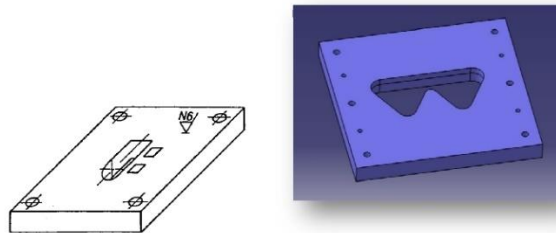


Figura 23. Placa Matriz

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

La forma constructiva de la placa matriz depende de los siguientes factores, forma del contorno de la pieza, dimensiones de la misma y del tipo del troquel, de acuerdo a estos factores existen diferentes tipos de matrices.

- Matriz entera: Es aquella que está constituida por una sola pieza y es empleada hasta dimensiones máximas de unos 300 mm. La forma de la pieza no debe tener partes muy estrechas o formas complicadas que dificultarían la fabricación de la misma, a no ser que se hiciera por el procedimiento de electroerosión.
- Matriz de casquillos o pastillas postizas: Son pequeñas matrices en forma de casquillos cilíndricos templados y rectificad y o pastillas, que se incrustan en un material de peor calidad y sin temlar. Se emplean cuando hay que realizar una serie de agujeros colocados a cierta distancia unos de otros. Este sistema tiene la ventaja de que se puede mecanizar,

primero la placa sirve de apoyo a los casquillos y después se introduce a presión en ella. Al estar los casquillos previamente templados se evitan errores de medida entre centros de taladros. La matriz de casquillos puede ir fija, montada a presión o puede ser desmontable.

- c) Matriz con piezas postizas: Se emplea para facilitar la construcción y reparación de los puntos débiles evitando así el elevado gasto de material que supondría reponerla por entero. Estas piezas postizas se pueden sustituir fácilmente.
- d) Matriz partida: Cuando hay que cortar piezas de grandes dimensiones, se monta el conjunto de la matriz uniendo todas las piezas desmontables para dar la forma de la pieza o para ahorrar material en caso de grandes matrices. También se emplea cuando se trata de figuras complicadas y estrechas, cuya ejecución por otro método sería muy difícil o incluso imposible, y en los casos en los que se quiere rectificar interiormente, ya que las rectificadoras de perfiles no pueden trabajar interiormente.

Cuando se trata de matrices en varias piezas es preciso asegurar la unión y la posición relativa de las piezas con gran exactitud, rigidez y resistencia, ya que los esfuerzos a que estarán sometidos son muy grandes. Adicionalmente, se debe tener, no aplicar nunca la línea de unión tangencialmente a un arco (Figura 24A), a causa de que los salientes agudos son puntos débiles y estarían expuestos a roturas. Las líneas de unión deben cruzar los centros de los arcos como en (Figura 24B) [19].

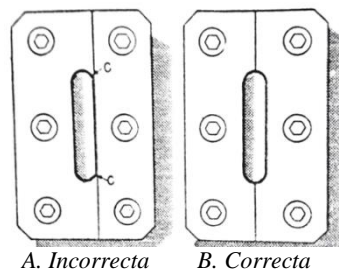
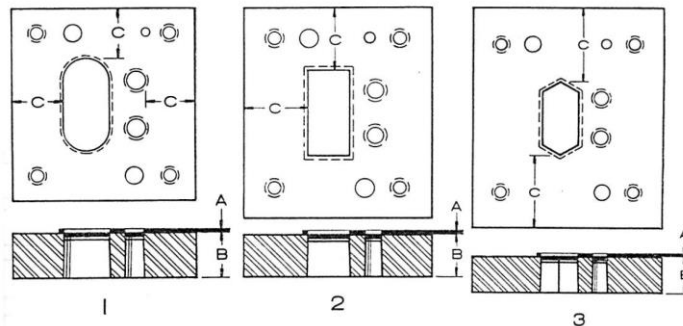


Figura 24. Maneras correctas e incorrectas de unión de matrices  
Fuente: Diseño de Matrices

## Cálculos

El espesor de la placa matriz depende tanto del esfuerzo de corte como de la forma de la pieza. Se comprende que una matriz, con un agujero circular, puede ser más delgada que una matriz con una abertura de forma irregular y cantos vivos por el peligro de estos a romperse. Los espesores de la placa oscilarán entre 12 y 40 mm, según el tipo de esfuerzo a realizar [21]. En la Figura 25 se muestran valores prácticos para el espesor y distancia al borde de las matrices.



A	B	C DISTANCIA MÍNIMA DE AGUJERO DE LA MATRIZ AL BORDE EXTERIOR		
		1 Perfil del contorno sin ángulos (1 1/8 B)	2 Perfil del contorno con ángulos rectos (1 1/2 B)	3 Perfil del contorno con ángulos agudos (2 B)
GRUESO DE LA TIRA	ALTURA DE LA PLACA MATRIZ			
0 a 1/16	15/16	1,0547	1,4062	1,875
1/16 a 1/8	1 1/8	1,2656	1,6875	2,250
1/8 a 3/16	1 3/8	1,5469	2,0625	2,750
3/16 a 1/4	1 5/8	1,8281	2,4375	3,250
Más de 1/4	1 7/8	2,1094	2,8125	3,750

Figura 25. Distancias mínimas C y B para varios contornos de agujero de matriz.  
Fuente: Diseño de Matrices

Otro punto a tener en cuenta a la hora de calcular y dibujar una matriz y para evitar el roce de las piezas cortadas con la matriz y facilitar la salida de las piezas, los agujeros de ésta no son de tamaño perfectamente uniforme, sino que se van ensanchando de arriba hacia abajo. Aquí abajo pueden verse los tipos y formas de ese ensanchamiento.

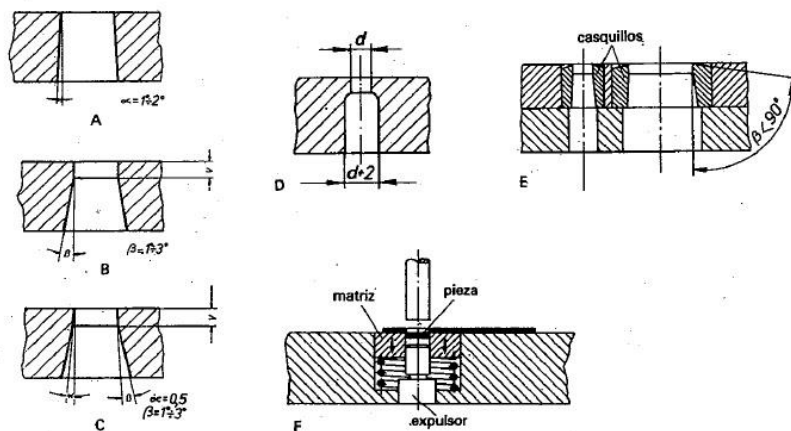


Figura 26. Detalle de ensanchamiento de la matriz.  
Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

La forma B es la que se emplea normalmente. En este caso, el agujero tiene una parte perfectamente paralela (y perpendicular, a su vez, a la cara superior) que se llama vida de la matriz. A partir de aquí se da un ensanchamiento en forma cónica con un cierto ángulo de escape o ángulo de salida. El tamaño de la vida de la matriz debe ser 2 o 3 veces el espesor de la chapa que se ha de cortar (pueden darse hasta unos 6mm), con la observación de que cuando menor sea más fácilmente se desprenderán las piezas cortadas, pero será menor la duración por los sucesivos afilados. El ángulo de salida se hace de 1° a 3° y en algunos casos, hasta 6° en matrices de poca duración.

#### Método de fijación.

Par asegurar la matriz a la placa de la misma deberán proporcionarse dos pasadores únicamente en cada matriz o elemento que requiera un posicionamiento permanente y preciso. Deberán colocarse tan separados como sea posible para efecto máximo de localización, de ordinario casi diagonalmente en esquinas opuestas. Se emplearán dos o más tornillos, dependiendo del tamaño del elemento montado. Es preferible colocar los tornillos y los pasadores a 1,5 veces sus diámetros desde los bordes exteriores del contorno de corte. Las siguientes reglas proveerán una construcción sólida [2].

1. En bloques de matriz de hasta 7 pulgadas (175 mm), cuadrados, emplear dos tornillos de cabeza de 3/8" (9,5 mm) y dos pasadores de 3/8".

2. En secciones de hasta 10" (250 mm) cuadradas, emplear tres tornillos y dos pasadores.
3. Para troquelar material pesado, utilizar tornillos y pasadores de 1/2" (12,7 mm) de diámetro. Abocar el alojamiento para la cabeza de los tornillos 1/8" (3,17 mm) más profundo que lo usual, para compensar por el afilado de la matriz.

### Punzones

Los punzones tienen como misión efectuar el corte introduciéndose en los agujeros de la matriz, para producir el cizallamiento de la chapa.

El material de los punzones será acero de alta resistencia y en todos los casos deben ir templados y rectificadas.

La sección del punzón suele mantenerse constante en toda su longitud, cuando el punzón es de forma sencilla y suficientemente robusto. Cuando la pieza a cortar es de sección reducida, la forma de la parte activa (parte del punzón que tiene contacto con el fleje) se reduce a una longitud limitada, mientras que el resto del punzón tiene mayor dimensión. El punzón tiene la forma del orificio a cortar [21]. Sin embargo, hay ocasiones en que el corte del perfil se hace en dos o más etapas para evitar que queden punzones muy debilitados.

Los punzones se hacen de una pieza, cuando son de formas sencillas, pero si son de formas complicadas, se pueden hacer con piezas postizas para simplificar la construcción, evitando perfiles cóncavos, o bien poder sustituir una parte del punzón en caso de rotura, sin necesidad de alterar el resto. En caso de punzones de grandes dimensiones conviene, a menudo, hacerlos de varias piezas, no tanto para simplificar la construcción, como para ahorrar material caro.

Los punzones pueden tener varias terminaciones que a continuación describimos. Normalmente la superficie inferior del punzón, que forma el filo, es completamente plana y perpendicular al movimiento del punzón, pero puede ser oblicua o tener otros perfiles según las necesidades para efectuar mejor el corte y reducir el esfuerzo.

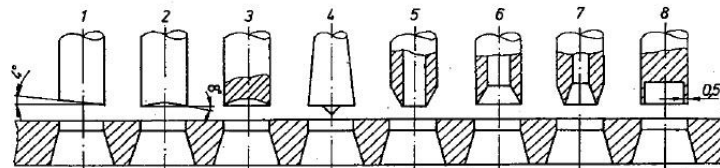


Figura 27. Detalle diferentes terminaciones de los punzones.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Siendo: 1, de corte de tijera sencilla; 2, de corte de tijera doble; 3, cóncavo; 4, con cono de aguja para troquelado de poca precisión; 5, sacabocados para discos de material blando; 6, para troquelar materiales blandos; 7, para cortar papel; 8, para cortar membranas y láminas delgadas.

Cuando dicha superficie no tiene un perfil plano y perpendicular al eje (caso tipo) el corte no se hace de una vez, sino en forma de tijera y se efectúan con menos esfuerzo; pero el trozo cortado queda generalmente deformado, por lo cual sólo se puede acudir a esta solución cuando ese trozo es el desperdicio y no la pieza cortada.

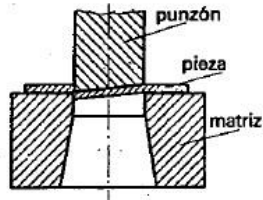


Figura 28. Detalle de corte en forma de tijera.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Cuando el punzón es único y de forma sencilla, puede formar una sola pieza con el mango o vástago suprimiéndose entonces la base superior o contraplaca. En la mayoría de los casos es necesario y conveniente hacer el punzón aparte y entonces se necesita un sistema que lo sujete a la base superior o contraplaca. Dicha sujeción puede hacerse sin placa portapunzones o con ella.

En [21] se presenta los diferentes tipos de cabezas para la fijación del punzón.

Una característica básica de los punzones es que estos deben quedar bien sujetos en todas las direcciones, evitando cualquier desplazamiento o giros en cualquier sentido. No debe tener holguras que perjudiquen su función.

Los punzones deben colocarse, naturalmente, según la figura que se necesite cortar. Pero cuando ello da lugar a que estén demasiados juntos, la fijación sólida se hace difícil, entonces es preciso distribuir los punzones en varias etapas de una matriz progresiva, consiguiendo así distanciarlos convenientemente.

Especial importancia tiene la distribución de los punzones en las matrices múltiples, que han de cortar varias piezas a la vez, ya que interesa que estén juntas para aprovechar mejor el material.

La elección del sistema de fijación de los punzones exige experiencia ya que se debe elegir el método más sencillo y compatible con el buen funcionamiento del troquel. Datos usados para la elección del mejor sistema de fijación son: Forma, dimensiones y sistema de fabricación del punzón, tipo del troquel, calidad y espesor del material a cortar y producción que se exigirá al troquel.

En la práctica se tiene en cuenta:

- El sistema de remachado se puede emplear, aun con perfiles complicados, y es muy usado, por su facilidad de construcción, en troqueles de poca producción y medianas exigencias.
- El sistema de resalto o valona es sencillo, en el caso de punzones cilíndricos o rectangulares, pero casi imposible aplicar en los demás casos. Se puede intentar variar la forma de la cabeza del punzón, lo cual no siempre es posible por razones de fabricación
- El ensanchamiento del punzón, para que apoye en la placa en lugar de la contraplaca, se usa poco porque complica la construcción y de ordinario no es necesario.
- Cuando es necesaria una fácil intercambiabilidad, puede ser útil el sistema de sujeción por tornillos o tuercas, si los punzones son grandes o el de las piezas portapunzones si son pequeñas.

El ajuste de los punzones en la placa portapunzones es muy importante, sobre todo para conseguir el centrado con los agujeros de la matriz y el exacto paralelismo con el movimiento del troquel. Sin embargo, cuando el troquel lleva guía fija de punzones, se da en ésta un ajuste muy preciso de tipo



deslizantes y en cambio se da un pequeño juego en la placa portapunzones para que los punzones puedan adaptarse más fácilmente a la matriz y a la misma guía.

### Cálculos

La determinación de las longitudes del punzón se ha basado, de ordinario, sobre la experiencia práctica. Cuando el diámetro de un agujero redondo perforado sea igual al grosor del material, la fuerza compresiva unitaria sobre el punzón es cuatro veces la resistencia al corte unitaria sobre el área de corte del material.

Los diámetros de la mayor parte de los agujeros son más grandes que el grosor del material; se recomienda un valor igual o mayor que 1.2 para la relación d/e.

La longitud máxima permisible de un punzón puede calcularse de la fórmula

$$L = \frac{\pi d}{8} \sqrt{\left(\frac{E}{K_s} \frac{d}{e}\right)} \quad (\text{Ecuación 9}) [2]$$

Donde,  
 $E$  = Modulo de elasticidad  
 $d$  = diámetro del agujero perforado  
 $K_s$  = Resistencia al corte unitaria del material (Resistencia a la cizalladura)  
 $e$  = espesor del material

Esta longitud se puede ver amentada cuando el troquel cuenta con un sistema de guiado para los punzones, ya que sólo sería crítica la parte del punzón que queda libre para el perforado.

Un punzón pequeño adyacente a uno grande se construye con una longitud más corta que el grande, siendo la diferencia de longitudes igual a los dos tercios del espesor de material. Se produce alguna desviación del material cuando el punzón grande penetra en la tira. Si ambos punzones fuesen de la misma longitud, el pequeño se desviaría ligeramente, originándose una flexión y la posibilidad de rotura [19].

### *Placa sufridera*

Cuando los punzones son de sección pequeña hay peligro de que se vayan clavando en la contraplaca. Para evitarlo se suele interponer, entre los punzones (placa portapunzones) y la contraplaca, una chapa de acero duro templado de 60 Kgf/mm<sup>2</sup> que tiene la misión de sufridera, repartiendo el esfuerzo y evitando así que se claven los punzones en la parte superior. Si los punzones son de sección mediana a grande, no se precisa la colocación de la placa sufridera ya que la propia contraplaca hace esa función.

El material de la placa sufridera será de un acero duro, templado y rectificado por las dos caras.

La dimensión de la placa sufridera bastará con que tenga un espesor de 3mm cuando las chapas a perforar sean delgadas. Para otros grosores de chapa mayores el espesor de la sufridera será de 5 mm.

### *Placa portapunzones*

Las placas portapunzones retienen y soportan los punzones de perforación, ranurado y corte. Ordinariamente se las construye con acero de máquinas, pero también se pueden construir con acero



de herramientas, sin endurecer, para matrices de alto grado. Las placas portapunzones comprenden desde pequeños bloques sencillos para retener los punzones de perforación hasta las grandes placas mecanizadas con precisión para retener centenares de perforadores. En el diseño ha de tenerse en consideración [19]:

1. Espesor adecuado para soportar correctamente el punzón.
2. Buena práctica de unión con clavijas para asegurar la posición exacta.
3. Suficiente introducción de los tornillos para soportar el esfuerzo de separación.

Una placa portapunzón se hace, generalmente, de sección cuadrada y de suficiente espesor para que soporte bien al punzón. Dos tornillos de cabeza hueca aplicados en las esquinas, resisten la presión de separación, mientras que clavijas en las otras dos esquinas sitúan la posición exacta. La distancia mínima desde los bordes de la placa a los centros de los tornillos, A, es 1,5 veces el diámetro del tornillo B (Figura 29).

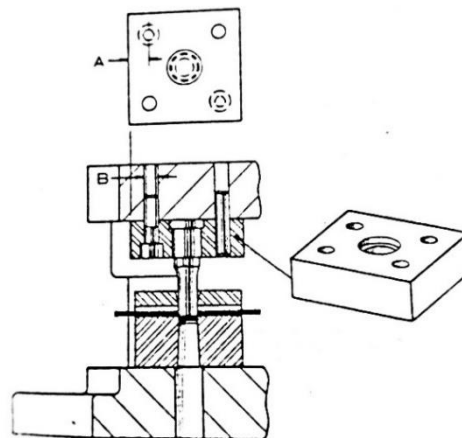
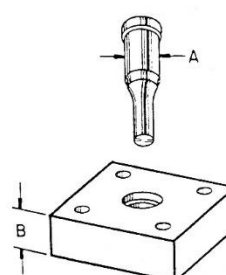


Figura 29. Portapunzones de un solo punzón.  
Fuente: Diseño de Matrices

Cuando las distancias de centro a centro son pequeñas, una sola placa portapunzones puede retener varios punzones perforadores.

El espesor de la placa portapunzones B debe ser aproximadamente igual a 1,5 veces el diámetro A del punzón perforador. Con la Tabla 2 el diseñador de matrices puede establecer rápidamente los espesores de la placa.



A		B
Desde	Hasta	
0	5/16	1/2
5/16	7/16	5/8
7/16	1/2	3/4
1/2	5/8	7/8
5/8	11/16	1
11/16	3/4	1 1/8
3/4	7/8	1 1/4
7/8	15/16	1 3/8
15/16	1	1 1/2

Tabla 2. Determinación de los espesores de las placas portapunzones.  
Fuente: Diseño de Matrices

### Pilotos

El piloto es una varilla o pivote postizo que se coloca en el punzón y, a veces, en su extremo, de forma y tamaño tal, que pueda introducirse bien ajustado en alguno de los orificios de la chapa realizado en una estación anterior. No es un sistema de retención y fijación del paso, sino un dispositivo auxiliar de otro sistema, por ejemplo el de simple tope, que hace que la precisión del paso aumente y evita además que puedan quedar cortes descentrados [21].

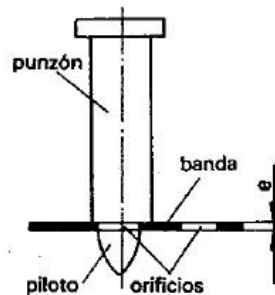


Figura 30. Detalle de un piloto.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

El piloto, al descender, se introduce en los agujeros previamente punzonados, centrándolos y posicionándolos con relación al punzón.

Debido a que su rotura puede resultar en la producción de partes imprecisas y el atascamiento o rotura de los elementos del troquel, los pilotos deben hacerse de un buen acero para herramientas, tratado térmicamente para máxima tenacidad y a una dureza de 57 a 60 Rockwell C.

### Reglas o guías del material

Las reglas deben ser consideradas en el diseño de las herramientas de prensa a causa de que estos componentes posicionan la tira longitudinalmente en su desplazamiento a través de la matriz. En las matrices de operaciones secundarias, las reglas sitúan las piezas formadas previamente para las posteriores operaciones del proceso. Las consideraciones de diseño incluyen [19]:

1. Elección de material. Para matrices de primera clase se utiliza un acero de herramientas. El acero laminado en frío e debe utilizar únicamente para bajas producciones.
2. Espesor adecuado. Deben ser lo suficientemente gruesas para evitar que la tira quede aprisionada entre la placa expulsora y la placa matriz, a causa de una posible flexión de la tira.
3. Fijación con pasadores. Como las reglas sitúan a la tira, deben estar siempre ensambladas con clavijas o pasadores en su posición.
4. Exactitud de posición. Las dimensiones desde el agujero de la matriz hasta las paredes de las reglas deben darse con exactitud.
5. Exactitud de las superficies de contacto. Las superficies de las reglas a las que se apoya la tira o pieza, deben ser rectificadas inclinándolas en el dibujo de la matriz.

La Figura 31 muestra el sistema más común de regla posterior y regla anterior.

En su paso por una matriz de perforar y recortar de dos estaciones, la tira es colocada contra la regla posterior **A** por el operador. El soporte **B** de la tira ayuda a soportar la parte inferior de ésta

manteniéndola en el mismo plano que la placa matriz evitando que se flexione. La dimensión **C** entre la regla posterior y la anterior es igual al ancho de la tira más  $1/32''$  cuando el material es alimentado en rollo. Cuando la alimentación se hace manualmente, la separación es dicho ancho más  $1/16''$  a  $3/16''$ . El espesor **D** de la regla posterior y de la anterior suele ser  $1/8''$  para espesores de tira correspondientes hasta el calibre 16 ( $0,0625''$ ). Para tira más gruesas, la dimensión **D** es igual al espesor de la tira más  $1/16''$  a  $1/8''$ .

En **E**, **F** y **G** están representado tres métodos de sujetar el soporte de la tira a la regla posterior. En **E** tornillos de cabeza hueca que atraviesan la regla posterior, están roscados, en agujeros existentes en el soporte de la tira. En **F** los componentes están remachados, mientras en **G** están soldados [19].

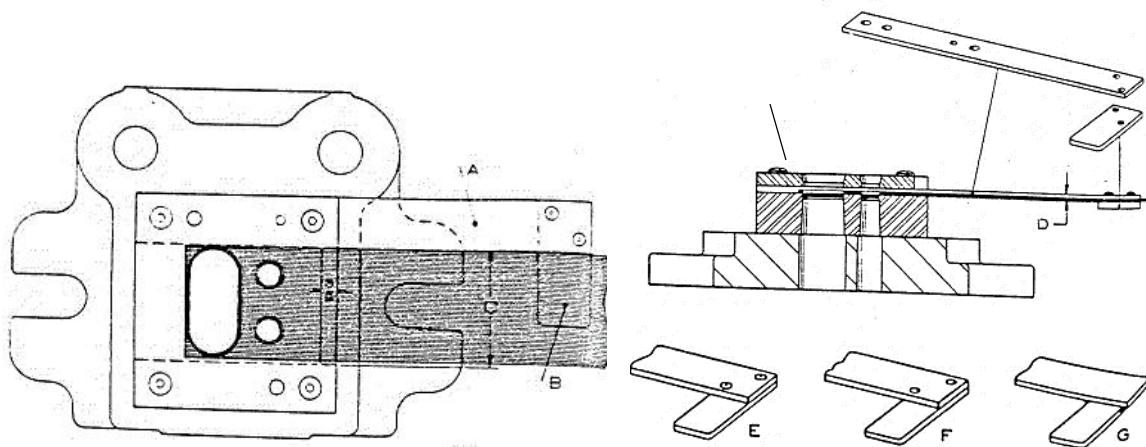
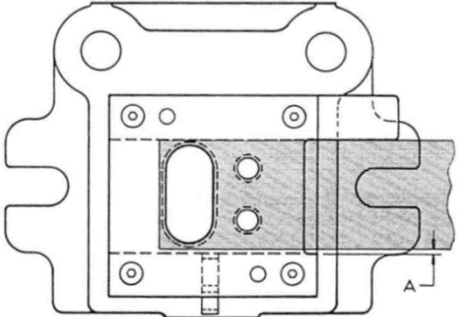


Figura 31. Disposición de la regla posterior y anterior en una matriz de perforar y recortar.  
Fuente: Diseño de matrices.

En la Figura 32 están tabuladas las distancias recomendadas **A** para la alimentación a mano utilizando un tope automático, y para la alimentación mecánica utilizando un tambor o un dispositivo de enganche. Se dan las distancias **A** para varios espesores de tira [19].



ESPESOR DE LA TIRA	A ALIMENTACIÓN A MANO	A ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICA
0 a $1/16$	$1/16$	$1/32$
$1/16$ a $1/8$	$3/32$	$1/32$
$1/8$ a $3/16$	$1/8$	$1/32$
$3/16$ a $1/4$	$5/32$	$1/32$
Más de $1/4$	$3/16$	$1/32$

Figura 32. Distancias **A** recomendadas para alimentaciones manual y mecánica.  
Fuente: Diseño de matrices.

En la Figura 33 están tabulados los espesores recomendados para la regla anterior. Estos permiten una separación mínima de  $1/16$  de pulgada entre la parte superior de la tira y la parte inferior de la placa expulsora, a fin de tener en cuenta la posible curvatura de la tira.

A	B
GRUESO DE LA TIRA	GRUESO DE LA REGLA ANTERIOR
0 a 1/16	1/8
1/16 a 1/8	3/16
1/8 a 3/16	1/4
3/16 a 1/4	5/16
1/4 a 5/16	3/8

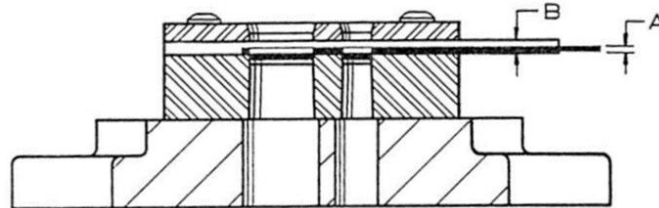


Figura 33. Alturas de reglas anteriores para distintos espesores.  
Fuente: Diseño de matrices.

### Topes

Los topes son dispositivos de retención y fijación del paso de la tira, tienen por objeto limitar el avance de la banda de chapa en cada golpe de prensa. Se construyen gran variedad de sistemas de topes, para conseguir que el material a cortar quede colocado precisamente en su posición conveniente, y su elección depende de varios factores [21].

El factor más importante es el estado en que entra el material en el troquel. Pueden darse dos casos [21]:

1. Cada pieza se saca de un trozo distinto de material, puede ser una porción de chapa plana, o una pieza previamente curvada o embutida.
2. Las piezas se sacan de una banda de chapa que va penetrando en el troquel de forma intermitente, en cuyo caso puede suceder que se trate de piezas sencillas (sacadas una a una de un solo corte), o bien, del mismo tipo de piezas, pero sacando varias a la vez en una matriz múltiple, o también, que sean piezas con agujeros interiores, que hayan de ser cortadas en un troquel progresivo.

Por último, otros datos importantes a tener en cuenta son: el tipo de troquel empleado, la producción exigida, el tipo de prensa que se emplea y, sobre todo, la precisión que se necesita obtener [21].

En su forma más simple, un tope para el material puede ser un pasador, un perno o un bloque pequeño contra el cual se empuja un borde del hueco, previamente producido por el troquel, después de cada carrera de la prensa (Figura 34).

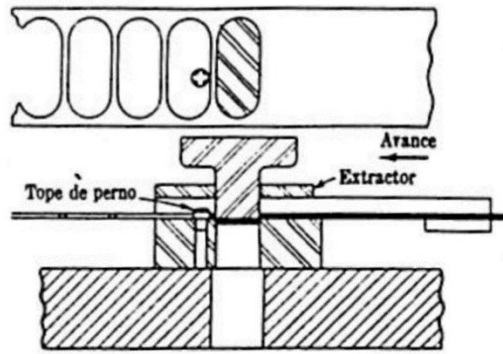


Figura 34. Tope de perno.

Fuente: Principios fundamentales para el diseño de herramientas.

Así mismo, existen topes más complejos que incorporan un sistema tipo gatillo (Figura 35). Al descender la prensa, una palanca pivotada (1) se mueve hacia afuera del área de salida del material por la acción del perno (2). En el ascenso del ariete, el resorte (3), controla el movimiento lateral de la palanca que monta sobre la superficie del material que avanza, y cae del área cortada para descansar contra el borde cortado de esa área.

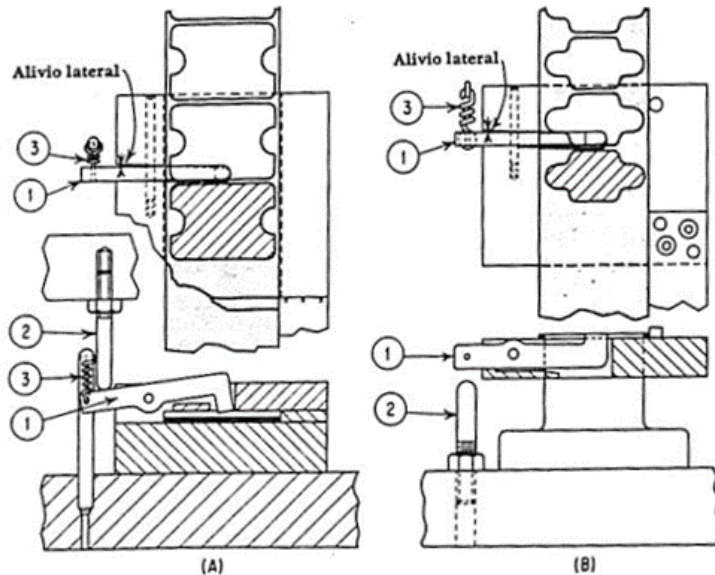


Figura 35. Topes de gatillo. (A) enganche arriba del material; (B) enganche abajo del material.

Fuente: Principios fundamentales para el diseño de herramientas

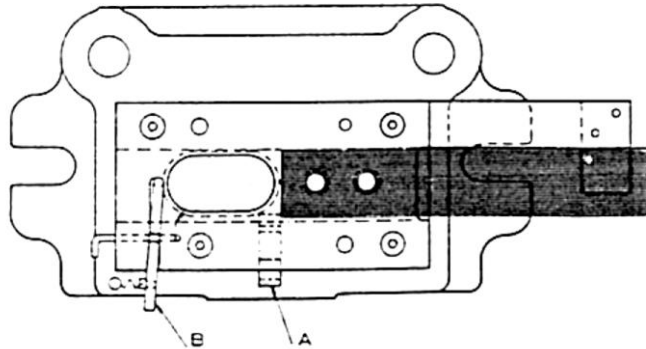
### Tope Manual

Los topes manuales, o topes primarios como también se les denomina, se utilizan en las matrices de dos o más estaciones. Sitúan la tira para la realización de las operaciones antes del enganche de la tira por el tope automático o por el alimentador de carrete [19].

El número de topes manuales utilizado depende del número de estaciones de la matriz. Para alimentación manual siempre es igual al número de estaciones menos 1. Para alimentación automática solamente se requiere un tope manual. Los topes manuales se hacen de acero laminado en frío, templado y cementado [19].

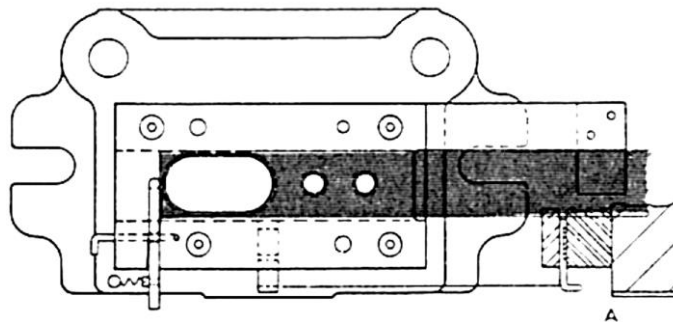
En las Figuras 36 y 37 se representa el funcionamiento de un tope manual típico. Como se puede observar, se trata de una matriz de dos estaciones, se perforan dos agujeros en la primera estación, y

se saca la pieza de la tira en la segunda estación. En la *Figura 36* el tope manual **A** ha sido avanzado hasta la posición de funcionamiento; la tira es empujada contra su extremo por el operario, y es disparada la prensa, que perfora los dos agujeros. El extremo del tope automático **B** ha sido empujado hacia la derecha por el muelle de dicho tope [19].



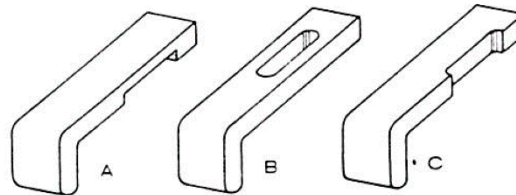
*Figura 36. Tope manual (A) en posición para detener la tira en la primera operación.  
Fuente: Diseño de matrices.*

En la *Figura 37* el tope manual ha sido empujado hacia atrás por el operario, permitiendo que la tira se mueva hacia la izquierda hasta que entre en contacto con el extremo del tope automático posicionándola. El disparo de la prensa produce una pieza completa y la perforación de dos agujeros. A continuación, el operario se limita a apretar firmemente la tira contra el tope automático [19].



*Figura 37. Tope manual retirado permitiendo el paso de la tira hasta el tope automático.  
Fuente: Diseño de matrices.*

Construcción: En la *Figura 38* se ilustran tres métodos corrientes de construcción de los topes manuales. En **A**, la parte inferior del tope está fresada a fin de obtener una ranura para limitar el desplazamiento del tope, y retener este en la regla anterior. En **B**, el tope tiene una ranura fresada en su centro; una espiga encaja en esta ranura para limitar el desplazamiento del tope. Análogamente, en **C** el tope tiene una ranura parcial cortada a lo largo del borde para limitar el desplazamiento. Es preferible el tope **A** dado que no requiere espiga y su mecanizado es más sencillo [19].



*Figura 38. Tipos de topes manuales.  
Fuente: Diseño de matrices.*



## Tope Automático

Los topes automáticos sitúan la tira en la estación final de la matriz. Difieren de los topes manuales en que detienen automáticamente la tira, y el operario se limita a empujar la tira contra el tope en su desplazamiento a través de la matriz. Por esta razón se les utiliza siempre cuando el operador tiene que alimentar la tira manualmente. Los topes automáticos se pueden construir con acero laminado en frío o con acero de máquinas, templado y cementado, pero cuando se prevé que han de funcionar mucho tiempo se deben construir con acero de herramientas, templado después del mecanizado. Las consideraciones de diseño incluyen [19]:

1. Acción eficaz en condiciones de alta velocidad y choque intenso.
2. Mínimo mecanizado de la placa expulsora para mayor resistencia.
3. Diseño robusto y seguro. Los topes automáticos realizan un servicio esencial en el funcionamiento, y un diseño débil puede ser una causa de avería.

La Figura 39 muestra diferentes diseños de topes automáticos [2].

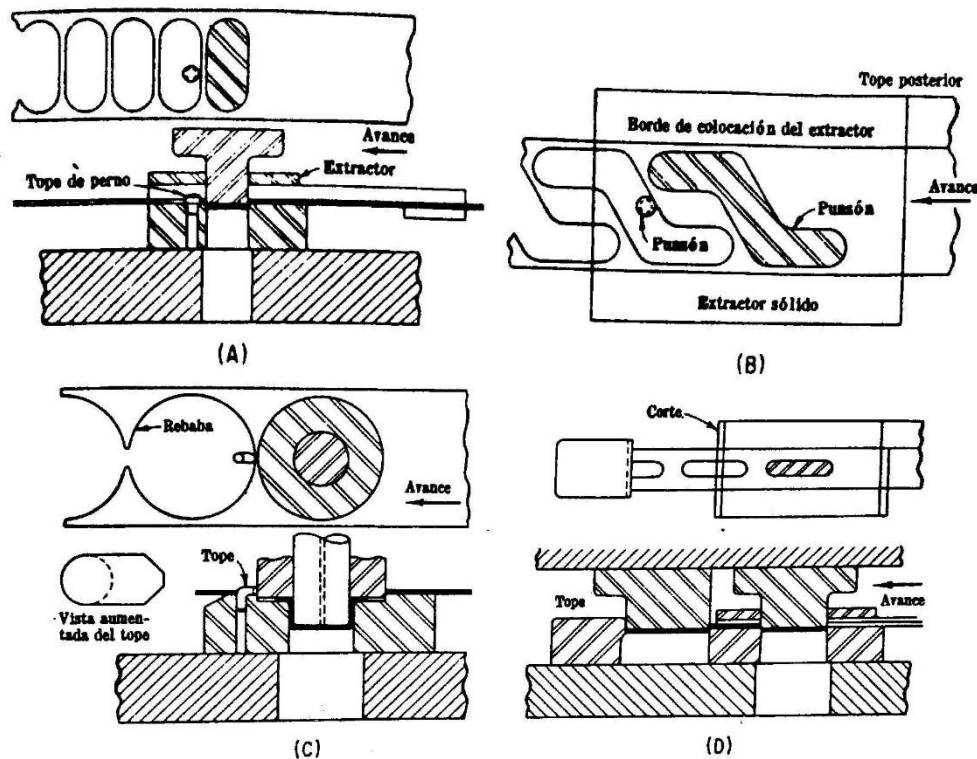


Figura 39. Diseño de topes automáticos.  
Fuente: Diseño de herramientas trabajo en frío.

La vista A ilustra un tope de perno apropiado para troqueles de baja a mediana producción. Cuando el ariete asciende, la tira se adhiere al punzón, es soltada por el extractor, y entonces avanza hasta que el perno pega contra el borde del agujero.

La vista B muestra el método de colocar el perno tope a fin de que se apoye contra la abertura troquelada sobre un borde angular de manera que la tira es apretada contra el tope trasero y se obtiene una guía excelente.

La vista C. Si no se deja material de desperdicio entre las partes troqueladas, como en un troquel de cortar y embutir de doble acción, es apropiado un tope de perno doblado. La punta afilada del tope encara con la tira entrante, separando las robabas y deteniendo la tira cuando hace contacto con el lado opuesto del agujero.

La vista D presenta un diseño en el cual una combinación de tope y bloque de apoyo posiciona la tira y previene la flexión del punzón cortador de este troquel de dos estaciones. La parte, un muelle plano, cae del portapunzón y se desliza por gravedad hacia la parte posterior de una prensa inclinada.

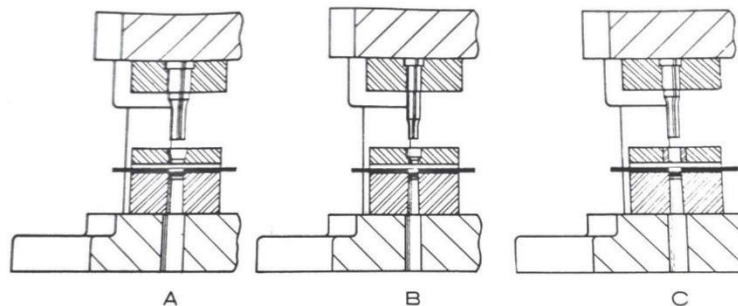
### *Extractores y Expulsores*

Los extractores y expulsores tienen la misión de facilitar la extracción del recorte de material que se encuentra alrededor de los punzones y la pieza que se halla en el interior de la matriz respectivamente. La fuerte adhesión de la tira de chapa a los punzones es una característica propia del proceso de los troqueles de corte [21].

La extracción se realiza por medio de una placa llamada extractora o expulsora que puede ir indistintamente fija a la placa matriz o unida al conjunto que se desplaza junto con el cabezal de la prensa. Se pueden fabricar de acero laminado en frío si solo han de ser mecanizadas con agujeros. Cuando otros mecanizados deben ser aplicados, las placas deben ser de acero de máquinas, el cual no está expuesto a deformación.

*Extractor de una sola pieza* [19]: A causa de su bajo coste, es el tipo de expulsores que más frecuentemente se utiliza. El sistema consiste en sujetar con tornillos una placa extractora en la parte superior de la matriz mecanizada de tal forma que puedan pasar los punzones de recortar y punzonar. Dos pasadores posicionan exactamente la placa extractora y la placa matriz. La extracción se produce cuando al subir el punzón arrastra consigo al recorte de la banda, que al chocar con la placa extractora queda desprendida.

Se utilizan tres métodos para mecanizar las aberturas de los punzones en la placa expulsora (*Figura 40*). En A se aplica una superficie cilíndrica de 1/8 de pulgada desde la parte inferior de la placa. Por encima de esta superficie se provee un rebaje angular para facilitar el paso del punzón cuando la distancia aumente a causa del afilado de la matriz. En B, la altura con el diámetro de corte del punzón pequeño es reducida para que conserve la rigidez. La placa expulsora es abocardada para que quede el espacio suficiente. En C, los pequeños punzones pueden ser guiados en casquillos templados introducidos a presión en agujeros mecanizados en el expulsor.



*Figura 40. Aberturas de punzón en la placa expulsora.*

*Fuente: Diseño de matrices.*

La forma exterior y las dimensiones de ancho y largo de la placa deben coincidir con las de la placa matriz, el espesor debe ser suficiente para soportar el esfuerzo que le transmite la chapa al rozar con



ella en el momento de subir los punzones, luego dependerá de la superficie y espesor de la chapa que tenga que retener. También debe tenerse en cuenta las dimensiones de los punzones [21].

*Extractor elástico* [19]. Es aquel en que la extracción es debida a la presión axial que hacen los muelles sobre la placa extractora, en el momento de subir los punzones. Al hacer un nuevo corte, los muelles se comprimen y la placa extractora presiona la pieza contra la matriz, en este momento bajan los punzones para realizar el punzonado.

Los extractores de muelles, aunque más complicados, se deben utilizar cuando existan las siguientes condiciones:

- Cuando se desea conseguir piezas exactas y perfectamente planas, ya que la placa extractora, debido a la acción de los muelles, aplana la chapa antes de empezar el corte.
- Cuando debe recortarse o punzonar chapas muy delgadas, con el fin de evitar los cortes desiguales y los bordes de las piezas redondeados.
- Cuando las piezas se obtienen de la tira de recorte que ha quedado en otras operaciones, los expulsores de muelle proporcionan al operario buena visibilidad para el posicionado correcto.
- Debido a que la expulsión se produce inmediatamente después del corte, los punzones pequeños no están expuestos a la rotura.
- En las operaciones secundarias, tales como en las matrices de perforación, la mayor visibilidad que proporcionan los separadores de muelle permite acelerarla alimentación y aumentar la producción.

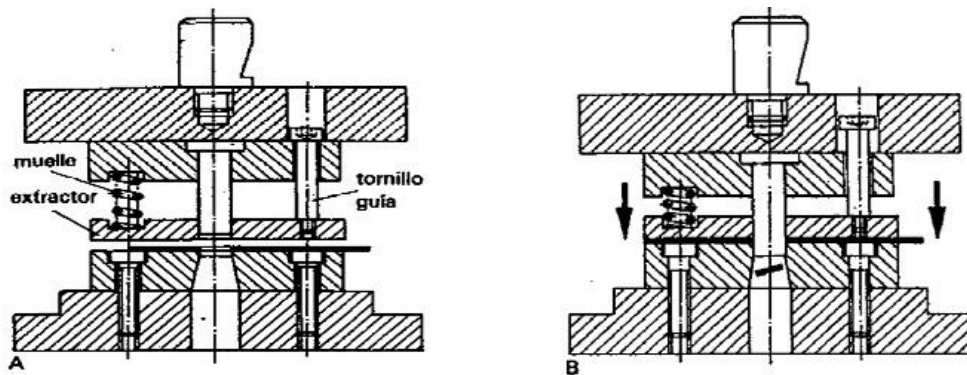


Figura 41. Detalle extractor elástico.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

En los sistemas elásticos de extracción, además de los muelles, se emplean también la goma, caucho, muelles hidráulicos y tornillos con espiga. Los muelles y tornillos pueden ir montados de diversas formas, según el tipo y características del troquel.

Cuando se utilizan expulsores de muelle o de goma, es necesario calcular lo más aproximadamente posible, la magnitud de la fuerza necesaria para efectuar la separación del material, tanto el que queda alrededor del punzón como el que se halla en el interior de la matriz. Del conocimiento y cálculo de las fuerzas de expulsión, depende una correcta selección del medio elástico, el valor a tener en cuenta para escoger la prensa es la suma de los esfuerzos de troquelado, extracción y expulsión.

La cantidad de resortes necesarios para la expulsión y/o extracción en el troquel se calcula mediante la siguiente relación:

$$Nr = F_E/F_r \quad (\text{Ecuación 10}) \quad [7]$$

Donde

$Nr$  = Numero de resortes

$Fe$  = Fuerza de extracción o expulsión

$Fr$  = Fuera del resorte

#### Muelles de Poliuretano Elastómero

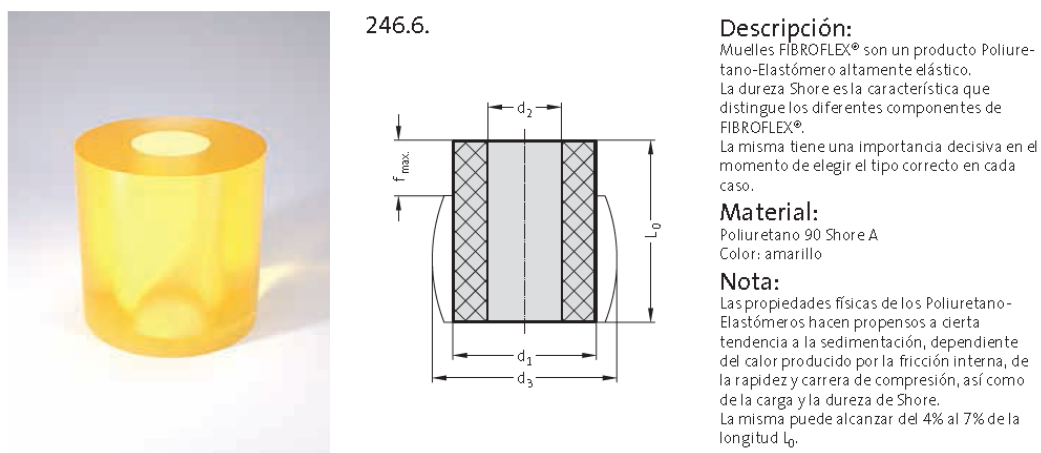
Los elastómeros son elementos elásticos capaces de absorber y amortiguar fuerzas, tanto de impacto como constantes. A un determinado desplazamiento de compresión, le corresponde una fuerza elástica para alcanzar dicho desplazamiento.

Los elastómeros son usados tanto en sustitución del muelle helicoidal tradicional en matrices u otras aplicaciones, como para la absorción de energía o amortiguación en múltiples aplicaciones industriales.

La característica principal en comparación con los muelles de acero es la fiabilidad en situaciones de emergencia, ofreciendo una larga vida de servicio sin mantenimiento. Los elastómeros poseen un mayor resistencia a la sobre-carga así como una excelente capacidad de absorción de impactos [23].

La empresa FIBRO, presenta en su catálogo la línea denominada FIBROFLEX [24] que cuenta con muelles de poliuretano normalizados con durezas de 80, 90 y 95 Shore A. Así mismo, suministran barras para que el cliente fabrique los muelles de acuerdo a sus requerimientos.

En la práctica, se han desarrollado diferentes troqueles empleando elastómeros con dureza de 90 Shore A, obteniendo excelentes resultados (*Figura 42*).



*Figura 42. Catálogo FIBROFLEX - Muelle redondo 90 Shore A, para DIN ISO 10069-1*

*Fuente. [www.fibro.com](http://www.fibro.com)*

#### Elementos de guiado.

Casquillos o Bujes: Forman parte del armazón superior (parte móvil), hacen de elemento de guía. Deben ser piezas cilíndricas perfectamente rectificadas. Los casquillos pueden variar, dependiendo de nuestras necesidades, en los catálogos se indican que tipo de casquillos podemos usar.

Cuando un troquel trabaja con mucha frecuencia, es necesario sustituir los casquillos de valona (con pestaña de apoyo) por ejemplo, por casquillos de jaula de bolas.

Un ejemplo de casquillo puede ser el que a continuación se describe. El orificio de alojamiento lleva una tolerancia H5. Los casquillos de guía con valona llevan 3 bridas de sujeción y sus correspondientes tornillos cilíndricos similares a DIN 6912 con cabeza O13.

Material: Hierro sinterizado de gran pureza, carbonitrurado.

Ejecución: Superficies de contacto y diámetro del alojamiento en rectificado fino.

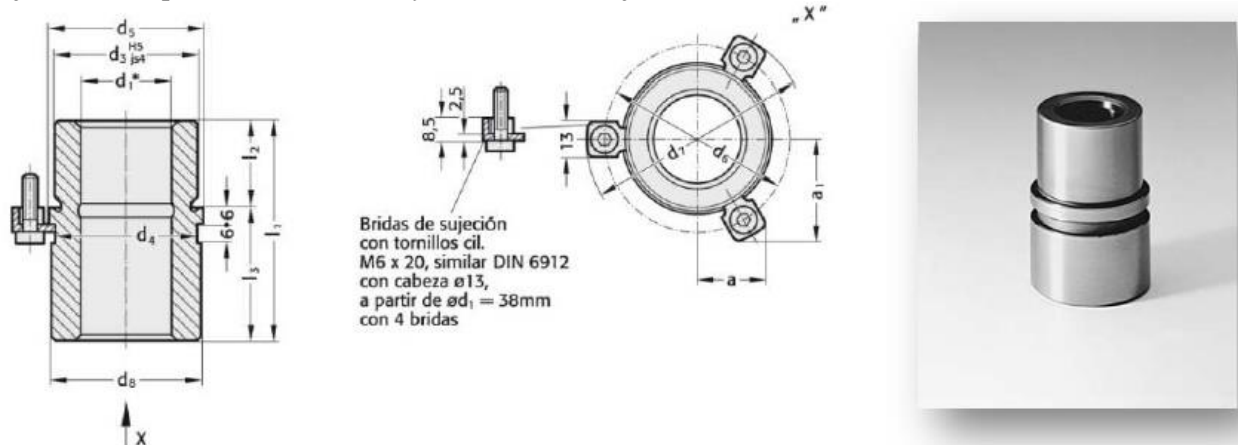


Figura 43. Casquillos y bridas del armazón.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

Columnas: Forman parte del armazón, parte fija y hacen de elemento de guía. Deben ser piezas cilíndricas perfectamente rectificadas. En la parte alta, que es por donde se desliza la base superior o contraplaca, llevan unas ranuras de forma anular para la buena distribución del aceite de engrase.

En la placa portapunzones las columnas se ajustan con juego deslizante, pudiendo ir la placa sin casquillo de bronce, cuando son de fundición y casquillo de acero o bronce cuando son de acero. Este tipo de columnas utilizadas en los armazones dan un trabajo muy exacto y suave.

A continuación, se describe un ejemplo de columna:

- Material: Acero, templado superficial
- Resistencia a la tracción en el núcleo:  $\geq 900 \text{ N/mm}^2$
- Dureza superficial:  $60 + 3 \text{ HRC}$ , templado por inducción
- Profundidad del temple  $\geq 1,8 \text{ mm}$ .
- Templado íntegramente hasta  $\varnothing 12 \text{ mm}$
- Ejecución: En rectificado fino y lapeado

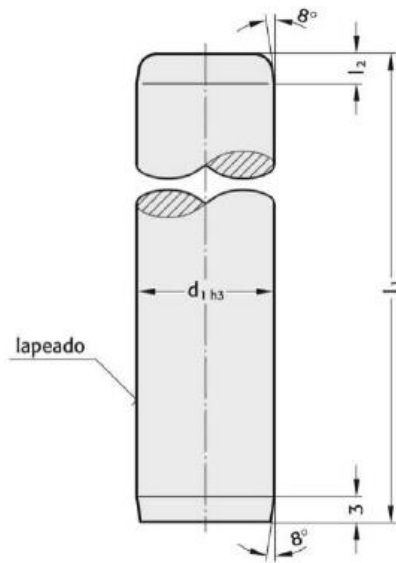


Figura 44. Columnas guía del armazón.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>

### PRENSAS PARA EL EMPLEO DE TROQUELES

Con el nombre genérico de *prensa* se entiende toda máquina que es capaz de proporcionar un impacto seco e instantáneo, aprovechando la energía cedida por la misma, para transformar, mediante los herramientas adecuados, una superficie metálica plana en una pieza de perfil previsto y definido, cómo en el punzonado, u obtener un volumen metálico en forma de recipiente, cómo es el caso de la embutición, estirado o extrusión [20].

Existen cinco tipos fundamentales de prensas para el estampado y matizado de metales:

- Prensas de excéntrica de simple o doble efecto
- Prensas de dos montantes
- Prensas de cuatro columnas
- Prensas con transmisión inferior
- Prensas de súper alta velocidad

Las prensas se pueden construir en fundición o acero soldado y su tipo de accionamiento puede ser manual, mecánico, hidráulico o neumático.

Cuando accionan a las matrices de corte, las prensas funcionan a velocidades comprendidas entre 40 y 80 carreras por minuto, aunque las prensas que accionan matrices de embutir y conformar trabajan más lentamente para que el metal pueda fluir.

Las prensas de excéntrica (*Figura 45*) son las más comunes y se emplean generalmente para cualquier tipo de trabajo de chapa metálica, su característica distintiva es la abertura frontal. Se construyen para capacidades de 1 a 315 toneladas y pueden ser inclinables, no inclinables, de simple efecto, de doble efecto o con engranajes reductores. En la *Figura 46* se destacan los componentes característicos de este tipo de prensas.



Figura 45. Prensa de excéntrica

Fuente <http://www.dicomaq.cl/site/index.php/es/productos/maquinaria-metalmechanica/item/175-prensa-excéntrica>

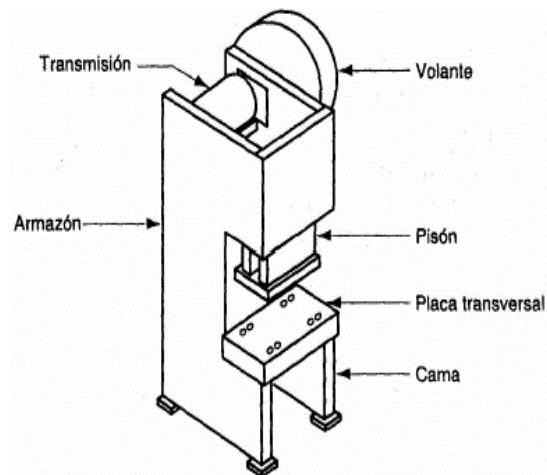
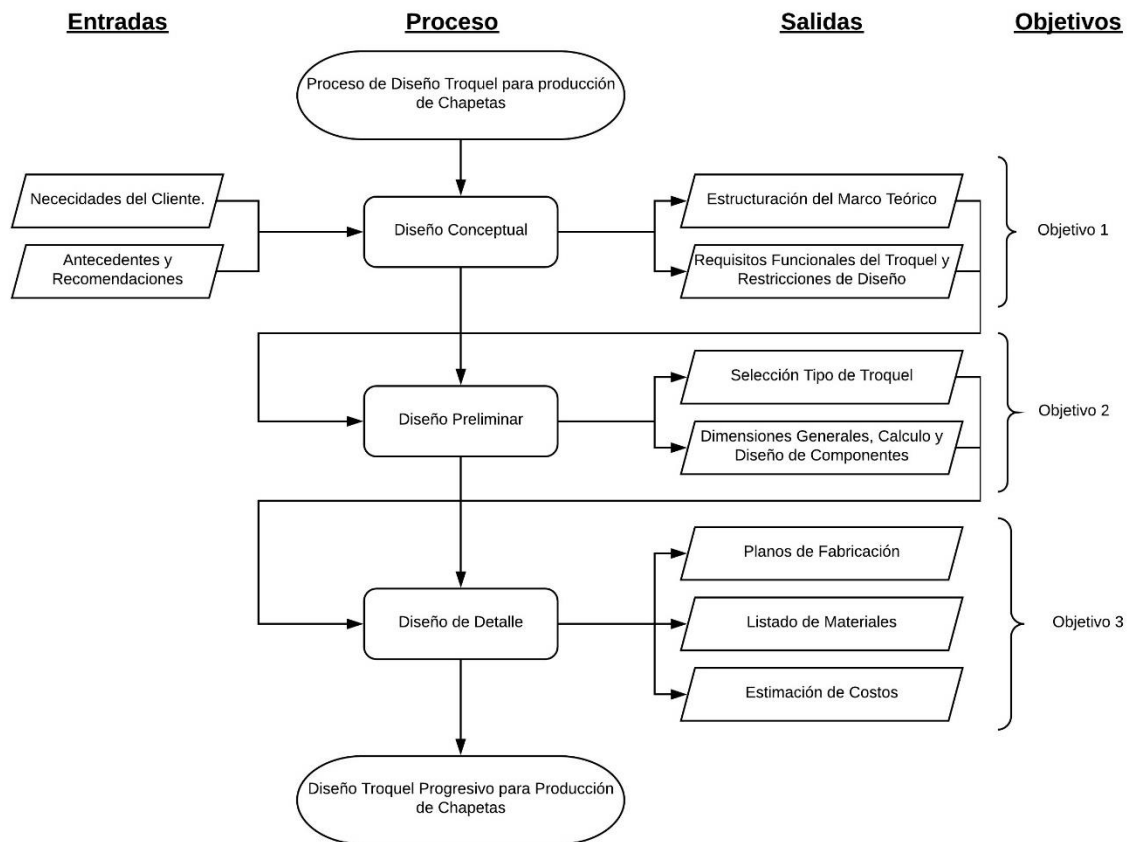


Figura 46. Componentes de una prensa troqueladora excéntrica.

Fuente <https://docslide.net/documents/libro-conformado.html>.

## CAPITULO 2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El presente proyecto fue desarrollado mediante el modelo descriptivo lineal de diseño representado en la *Figura 47*.



*Figura 47. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto.*

*Fuente: Autor*

A continuación, se describen cada una de sus etapas:

### *Diseño Conceptual*

En esta etapa se determinaron los requerimientos del producto que se desea obtener en cuanto a geometría y material de producción de acuerdo al plano de fabricación suministrado por el cliente. Se analizó el proceso productivo actual, identificando las falencias que presenta y sus oportunidades de mejora. A partir de esta información se generó un sumario de los requisitos funcionales del nuevo troquel y las restricciones o limitaciones de diseño.

Adicionalmente, se hizo la revisión bibliográfica, en busca de los conceptos, teorías y herramientas necesarias para el diseño del troquel, los cuales se presentan en el capítulo de marco teórico del presente documento.

### *Diseño Preliminar.*

En esta etapa se definió el tipo de troquel que mejor se adaptó a las características de solución deseadas. Se obtuvieron formas específicas, materiales y dimensiones generales del troquel y sus componentes de acuerdo a su función dentro del mismo, así como un esquema de ensamble del troquel.

### *Diseño de Detalle.*

Se elaboraron los planos de fabricación de cada una de las piezas del troquel, aprovechando las herramientas de diseño paramétrico 3D del software CAD SolidWorks, obteniendo un listado de partes y materiales requeridos.

Además, se realizó una estimación de costos del diseño propuesto, teniendo en cuenta, además de los materiales, el proceso fabricación (mecanizado y ensamble) e ingeniería.



### CAPITULO 3. DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se describe el producto que se quiere obtener, mostrando sus requerimientos en cuanto a geometría y material de producción de acuerdo al plano de fabricación suministrado.

Así mismo, presenta una evaluación del proceso de producción de las chapetas, identificando las falencias que presenta y sus oportunidades de mejora. Finalmente, esta información es empleada para establecer los criterios de diseño del nuevo troquel, estableciendo un sumario restricciones y requisitos de diseño.

#### DESCRIPCION DE LAS CHAPAS DE UNION

La empresa a la cual se le realizó el proyecto es líder en el desarrollo de equipos para transporte de carga, atendiendo el mercado de remolques y semirremolques. Dentro de la variedad de productos que fabrican se encuentran las plataformas, de las cuales se ofrecen varias opciones (*Figura 48*).



Tipo Contenedor



Tipo Carbonera



Tipo Sider



Para transporte de Aves en Pie



Tipo Estaca



Carrozadas con Carpa

*Figura 48. Diferentes Tipos de Plataformas fabricadas para Semirremolques*

Fuente: <http://ditetrailer.com/wp/productos/palataformas/>

Todas estas plataformas requieren de una u otra manera del trabajo en frío de láminas metálicas para dar forma a las diversas partes que las componen, bien sea mediante el uso de prensas dobladoras o troqueles.

Ahora, dentro de las partes requeridas para la producción de las plataformas tipo Estaca y Carrozadas con carpa, se encuentra la chapeta #4 (*Figura 49*). Se trata de una pieza de acero al carbono A-36



calibre 10 (3,4 mm) de 64 mm de ancho por 124 mm de largo, con tres perforaciones pasantes necesarias para su fijación con tornillos a los paneles laterales de la carrocería. Cada panel puede llevar 3 o 4 chapas a cada lado (izquierdas y derechas), con el fin de realizar una unión tipo ancla entre sí, haciendo más práctico el arme y desarme de la carrocería.

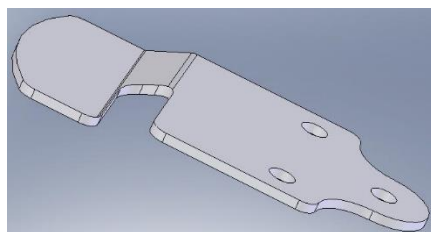


Figura 49. Chapa de unión (Chapeta #4)

Fuente: Autor

En la Figura 50 se muestra el plano de fabricación de las chapas suministrado por el cliente, donde se puede apreciar que la diferencia entre la chapa izquierda y derecha sólo radica en la orientación que se le da al dobléz que lleva en uno de sus extremos.

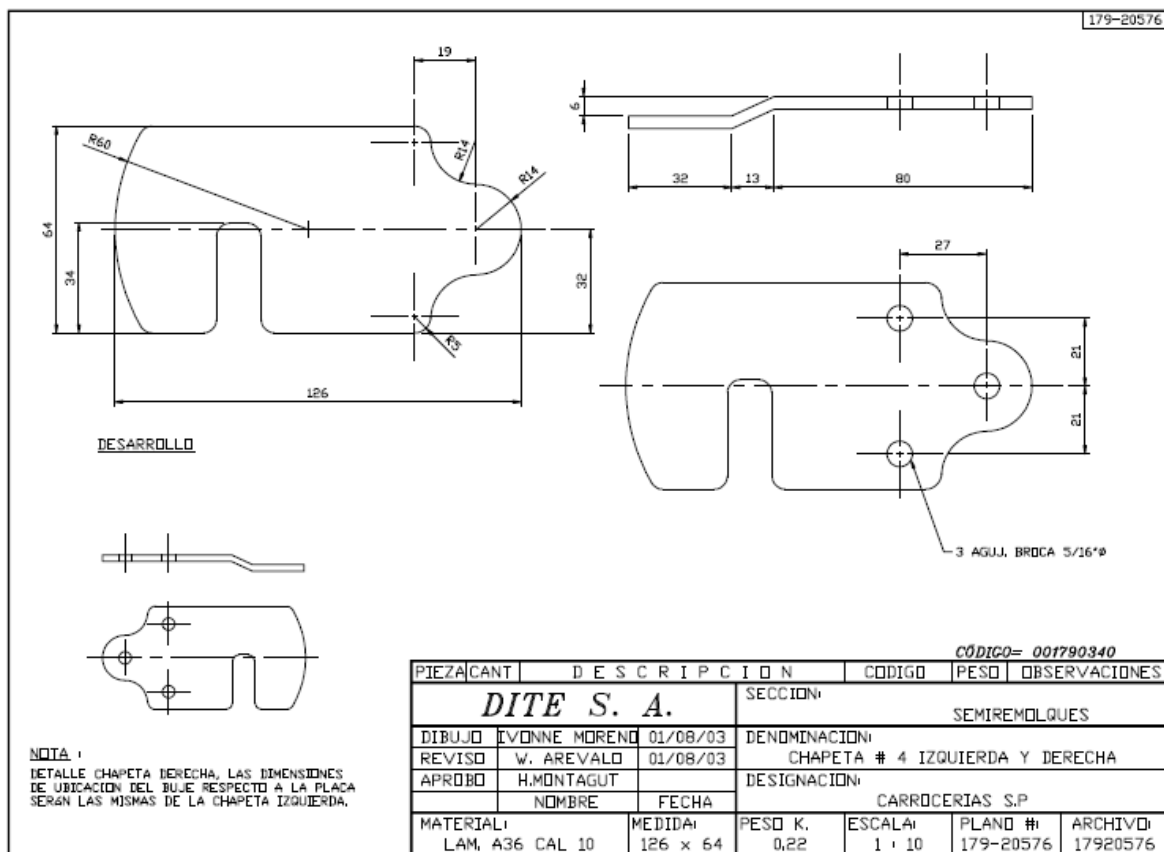


Figura 50. Plano de fabricación de la chapeta #4 izquierda y derecha.

Fuente: Cliente

## PROCESO DE PRODUCCION ACTUAL

El proceso de producción de las chapetas está dividido en tres etapas; Corte, Perforado y Doble, las cuales se explican a continuación:

*Corte:* El contorno de la pieza se obtiene mediante un troquel simple. Las piezas obtenidas presentan constantes rebabas e imperfecciones, que, a pesar de no ser críticas en cuanto a la funcionalidad, son muestra clara de que el herramental no trabaja adecuadamente.

*Perforado:* Los tres agujeros que lleva la pieza se realizan en un taladro de árbol y requiere de un tiempo adicional que depende de la habilidad del operario, pues no cuentan con una plantilla que garantice la ubicación de los agujeros. Esto genera diferencias notables en la posición de una pieza a otra y un alto costo de producción por la necesidad de desplazamientos y el empleo de más horas hombre y horas máquina en el proceso.

*Doblado:* Este proceso se realiza en una prensa hidráulica de acuerdo a las especificaciones establecidas en el plano de fabricación. No se tienen plantillas ni herramientas que garanticen un doblez homogéneo en todas las piezas.

### Análisis del troquel de corte actual.

Dentro del proceso de producción el punto crítico está en el troquel, siendo este la razón por la cual el cliente acudió a los servicios del taller, ya que presenta constantes fracturas en la matriz de corte, deteniendo el proceso productivo por un largo tiempo mientras se envía al taller, se hace el mecanizado, tratamiento térmico, rectificado y ajuste de la nueva matriz para continuar con la producción.

Ahora, para poder identificar las falencias que presenta este troquel, es indispensable conocer cuáles son las partes que lo componen.

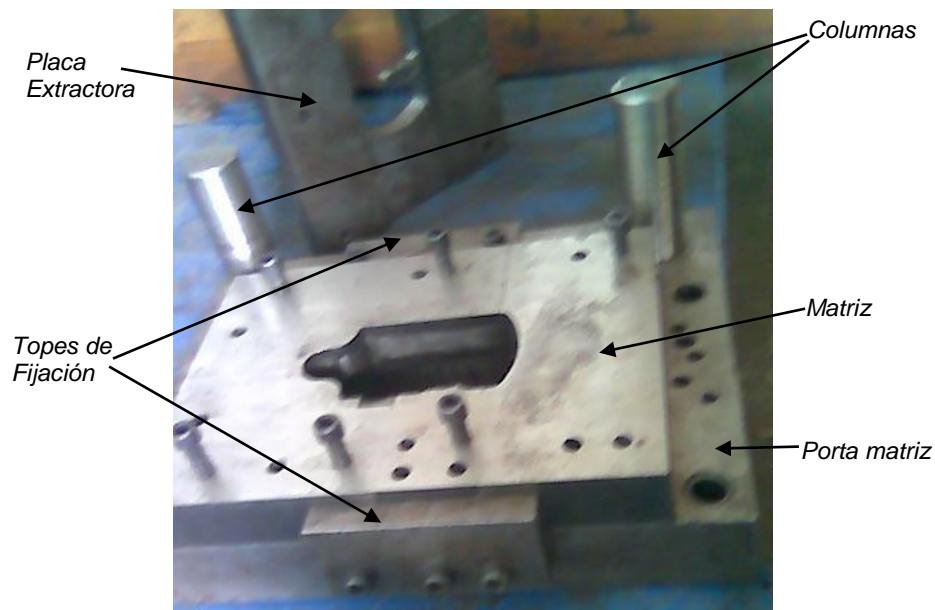
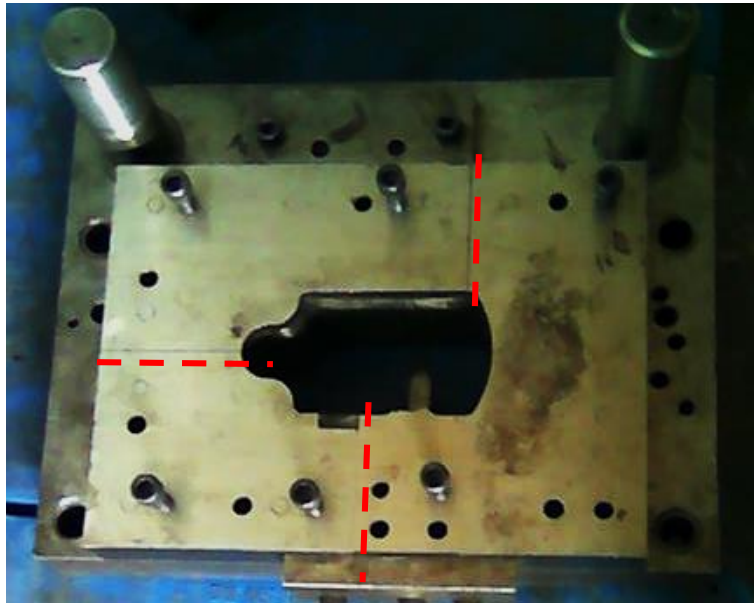


Figura 51. Parte Fija del troquel  
Fuente: Autor

La parte inferior o fija (*Figura 51*), está compuesta por una placa base o porta matriz, dos columnas guías, una placa extractora, dos topes de fijación y la matriz de corte compuesta por tres piezas.



*Figura 52. Configuración Modular de la Matriz*  
*Fuente: Autor*

La parte superior o móvil (*Figura 53*), está compuesta por una placa base o contraplaca, dos bujes guías, una placa sufridera, y el punzón de corte o macho.



*Figura 53. Parte Móvil del troquel*  
*Fuente: Autor*

En la *Tabla 3* se encuentra el análisis realizado al troquel, agrupando los aspectos más relevantes y sus oportunidades de mejora.

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>FALLAS / OPORTUNIDADES DE MEJORA</b>
<b><i>Sistema de guiado</i></b>	Se compone de dos columnas en la base inferior y sus respectivos bujes en la base superior.	Al realizar el ensamble se percibe un juego excesivo entre bujes y columnas, lo cual afecta notablemente el centrado entre punzón y matriz, razón por la cual se generan imperfecciones en las piezas obtenidas, concentración de esfuerzos en las zonas donde haya menos holgura al momento de corte y choque entre los bordes de la matriz y el punzón.
<b><i>Matriz</i></b>	El contorno de la pieza está distribuido en tres partes que se unen para dar la forma correspondiente ( <i>Figura 60</i> ).	Las secciones que la componen no están distribuidas de tal forma que se disminuyan las concentraciones de esfuerzos en los vértices. La zona de mayor concentración de esfuerzo y alta probabilidad de falla, está en la sección de lado derecho, que abarca casi el 50% del contorno de la matriz, lo que significa que cada vez que se presenta una fractura se debe fabricar una pieza grande. Adicionalmente, las dimensiones externas de cada sección son innecesariamente grandes, se generan sobrecostos en acero, mecanizado y rectificado de la pieza templada.
<b><i>Topes de Fijación</i></b>	Cuenta con tope frontal y posterior para evitar desplazamientos por las fuerzas que se generan en el troquelado.	No hay topes que actúen contra las fuerzas que se generan lateralmente.
<b><i>Placa Extractora</i></b>	Tiene como función desprender la tira de metal del macho o punzón, ya que en la carrera de retroceso del troquel el material tiende a adherirse.	Sus dimensiones son mucho mayores a las de la tira y no cuenta con un sistema de pisado o prensado del material, por lo cual la tira no avanza centrada y se curva hacia arriba y hacia abajo, en el avance y retroceso del punzón, respectivamente.
<b><i>Punzón y Placa Sufridera</i></b>	En términos generales, el diseño del punzón y placa sufridera es acorde a las necesidades.	El punzón presenta un escalón en su parte inferior el cual puede generar impactos con la matriz si no se tiene precaución al momento de establecer el recorrido del troquel.
<b><i>Alimentación Controlada de Material</i></b>	No Tiene	El avance de material queda sujeto al criterio y habilidad del operario, generando: desperdicio de material por demasiado espacio entre cada pieza recortada, o dificultades en el troquelado y deficiente acabado de la pieza por tener poco espacio entre cada corte.

*Tabla 3. Análisis del troquel actual, fallas y oportunidades de mejora.*  
Fuente: Autor

## Tiempos incurridos en el proceso de taladrado.

El tiempo aproximado que requiere un operario para realizar las perforaciones de la chapeta corresponde a la sumatoria del tiempo de arranque de viruta más los tiempos de las operaciones de alistamiento del taladro y preparación de la pieza.

El tiempo de arranque de viruta (teórico) corresponde a 2,41 s (0,04 min), y se obtuvo mediante el programa *Walter Machining Calculator* (Figura 54) [25], a partir de los siguientes datos:

Diámetro de la broca: 8 mm, de acuerdo al plano del producto.  
 Profundidad de orificio: 3 mm, corresponde al espesor de la pieza por ser agujero pasante.  
 Velocidad de Corte: 15-20 m/min, se obtiene de la *Tabla 4* [26], para trabajo en acero no aleado con herramienta de calidad HSS.  
 Velocidad de Avance: 0,125 mm/rev, de la *Tabla 5* [26].

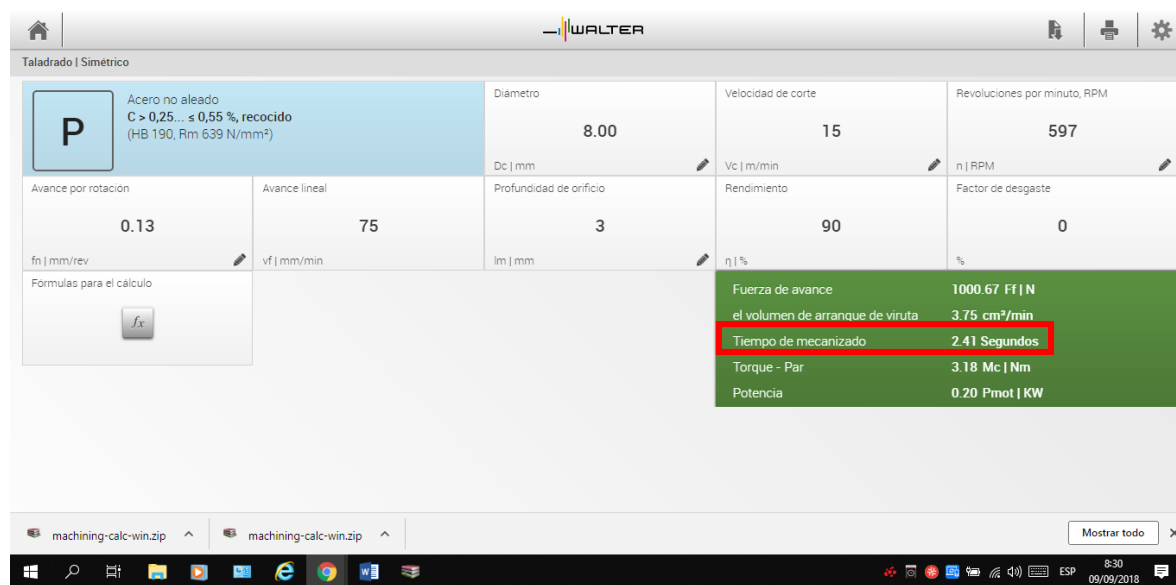


Figura 54. Cálculo del tiempo de taladrado, software *Walter Machining Calculator*

Fuente: Autor

## APLICACIONES DE LAS BROCAS EN LOS MATERIALES MÁS USUALES

MATERIAL	Tipo de Broca	Calidad	Angulo de Punta	Velocidad de Corte m/min.	Avances s/Tabla	Refrigerante
ACEROS DE DECOLETAJE Hasta 500 N/mm <sup>2</sup>	*N	HSS	118°	20-25	D	EMULSIÓN
	N	HSSCo	135°	25-30		
	N	TiN	118°/135°	45-50		
ACERO NO ALEADO CON CONTENIDO EN CARBO- NO* 0,4% Dureza 800 N/mm <sup>2</sup>	*N	HSS	118°	15-20	D	EMULSIÓN
	*N	HSSCo	135°	20-25		
	N	TiN	118°/135°	35-40		
ACERO NO ALEADO CON CONTENIDO EN CARBO- NO* 0,4% Dureza 800-1000 N/mm <sup>2</sup> ACERO CEMENTADO Y TEMPLADO REVENIDO DUREZA " 700 N/mm <sup>2</sup>	N	HSS	118°	12-15	C	EMULSIÓN
	*N	HSSCo	135°	15-20		
	*N	TiN	118°/135°	25-30		

Tabla 4. Aplicaciones de las brocas en los materiales más usuales.

Fuente: <http://www.blumaster.es/es-ES/Contenido/Index/Documentacion tecnica>

Ø BLOQUE BROCA	A	B	C	D	E	F
2,0	0,020	0,025	0,032	0,040	0,050	0,063
2,5	0,025	0,032	0,040	0,050	0,063	0,080
3,0	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,100
4,0	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125
5,0	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125
6,5	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160
8,0	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200
10,0	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250

Tabla 5. Velocidad de Avance (mm/rev)

Fuente: <http://www.bluemaster.es/es-ES/Contenido/Index/Documentaciontecnica>

De acuerdo a lo reportado por el encargado del área de producción, al tiempo de arranque de viruta se le debe adicionar los siguientes tiempos necesarios en la perforación de cada agujero:

Sujeción de pieza: 1 min  
 Cambio posición taladro: 0,7 min  
 Centrado del taladro: 0,2 min  
 Lubricación: 0,1 min

Con esto, se tiene que el tiempo de mecanizado por agujero es de 2,04 minutos, es decir, que el operario se toma aproximadamente 6,12 minutos (367 s) en el proceso de perforación de cada chapeta.

### RESTRICCIONES DE DISEÑO

En visita realizada a las instalaciones del cliente se levantó la información necesaria para establecer las limitaciones que se deben tener en cuenta en el proceso de diseño:

- Capacidad de la Prensa:
  - Fuerza: 100 Ton
  - Carrera del martillo: 46 mm
  - Altura mínima del martillo: 164 mm
  - Tamaño de la Mesa: 455 mm x 600 mm
  - Abertura de la Mesa: 190 mm x 270 mm
  - Distancia entre puntos de fijación: 440 mm
- Material disponible: El material que se tiene disponible para la producción de las chapetas es de 80 mm x 1829 mm calibre 11 (3 mm). Actualmente la empresa cuenta con gran cantidad de material cortado de acuerdo a estas especificaciones y debe ser aprovechado.

## REQUISITOS DE DISEÑO

De acuerdo al análisis realizado al proceso de producción y las restricciones de diseño, se presenta el siguiente listado de requisitos de diseño:

- Tira de material: Acero A36 calibre 11 de 80 mm x 1829 mm.
- Alimentación de material: Manual con sistema de guiado.
- Avance de material: Controlado por topes
- Fuerza de corte máxima: 100 Ton.
- Dimensiones max. portatroquel: 455 mm x 600 mm.
- Altura min. troquel cerrado: 165 mm.
- Proceso de conformado: Mixto – mínimo dos operaciones en el troquel.
- Tipo de Matriz: Partida.
- Centrado de matriz: Guiado con bujes y columnas.
- Extracción de la tira de material: Extractor elástico.
- Expulsión de la pieza: Expulsor elástico.

## CAPITULO 4. DISEÑO PRELIMINAR

Teniendo en cuenta los requisitos y restricciones de diseño, establecidos en la etapa de diseño conceptual, este capítulo presenta la selección del tipo de troquel que brindará la mejor solución para la producción de las chapetas de acuerdo a las necesidades del cliente. Este proceso de selección fue ejecutado mediante una matriz de decisión en la que se evaluaron las propuestas de diseño de acuerdo a los factores de mayor importancia para el proyecto. Finalmente, se muestra un esquema del diseño propuesto, identificando sus partes principales.

### SELECCIÓN DEL TIPO DE TROQUEL

La selección del tipo de troquel se basó en el siguiente requisito: Debe disminuir los costos de producción, aprovechando el proceso de troquelado para que en el mismo herramental se realicen por lo menos dos de las tres operaciones de conformado.

Así las cosas, existen cuatro diseños potencialmente viables para dar solución, los cuales son:

- *Troquel Compuesto para Perforación, Corte y Doblez*
- *Troquel Compuesto para Perforación y Corte*
- *Troquel Progresivo para Perforación, Corte y Doblez*
- *Troquel Progresivo para Perforación y Corte*

Con el fin de seleccionar el diseño que mejor se adapte a las necesidades del cliente se realizó una matriz de decisión [27] (*Tabla 6*) en la que se evalúa el Costo de Fabricación y Mantenimiento, Productividad, Precisión de las piezas obtenidas y Confiabilidad para cada caso.

Teniendo en cuenta que la chapeta no es una pieza que se produzca en grandes cantidades, además de que las perforaciones y su ubicación respecto a la pieza no requieren gran precisión, se asignaron los factores de ponderación a cada categoría a evaluar, como sigue:

- |                                            |             |
|--------------------------------------------|-------------|
| ➤ <i>Costo Fabricación y Mantenimiento</i> | <i>35%</i>  |
| ➤ <i>Productividad</i>                     | <i>20%</i>  |
| ➤ <i>Precisión</i>                         | <i>15%</i>  |
| ➤ <i>Confiabilidad</i>                     | <i>30%</i>  |
| ➤ <i>Total</i>                             | <i>100%</i> |

Las alternativas de diseño se evaluaron en un rango de 1 a 10, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- El troquel progresivo contiene una serie de pasos que realizan operaciones sucesivas en cada golpe, transformando progresivamente el material hasta obtener la pieza final a medida que avanza a través del troquel. Esta característica descarta el uso de varios troqueles simples.
- El troquel compuesto, al igual que el progresivo, tiene una acción mixta sobre el material, pero con los componentes combinados de tal forma que desarrolla una acción simultánea sobre la pieza sin necesidad de repetición. Trabaja con varios punzones, introducidos unos dentro de otros, de tal manera que un punzón es, a la vez, matriz respecto a otros punzones. Otra característica de este tipo de troquel es el sistema de expulsión del retal y de la pieza cortada, por medio de elementos elásticos y mecanismos auxiliares. Todo ello hace que sea



en general, de fabricación delicada y cara, por lo cual sólo es más rentable que los progresivos cuando se trata de series importantes y piezas de precisión [21].

- Incluir la operación el dobléz final, el cual varía su sentido para determinar si la chapeta es izquierda o derecha, implicaría tener un juego de punzones y matrices independientes para cada lado, encareciendo aún más el herramental.

	<i>Costo Fabricación y Mantenimiento</i>	<i>Productividad</i>	<i>Precisión</i>	<i>Confiabilidad</i>	<i>RANGO</i>
<i>Factor de ponderación</i>	35%	20%	15%	30%	100%
<i>Troquel Compuesto: Perforación, Corte y Doblez</i>	3 1,05	9 1,8	9 1,35	6 1,8	6
<i>Troquel Compuesto: Perforación y Corte.</i>	6 2,1	7 1,4	9 1,35	7 2,1	6,95
<i>Troquel Progresivo: Perforación, Corte y Doblez</i>	3 1,05	8 1,6	5 0,75	8 2,4	5,8
<i>Troquel Progresivo: Perforación y Corte.</i>	9 3,15	6 1,2	5 0,75	8 2,4	7,5

Tabla 6. Matriz de decisión  
Fuente: Autor

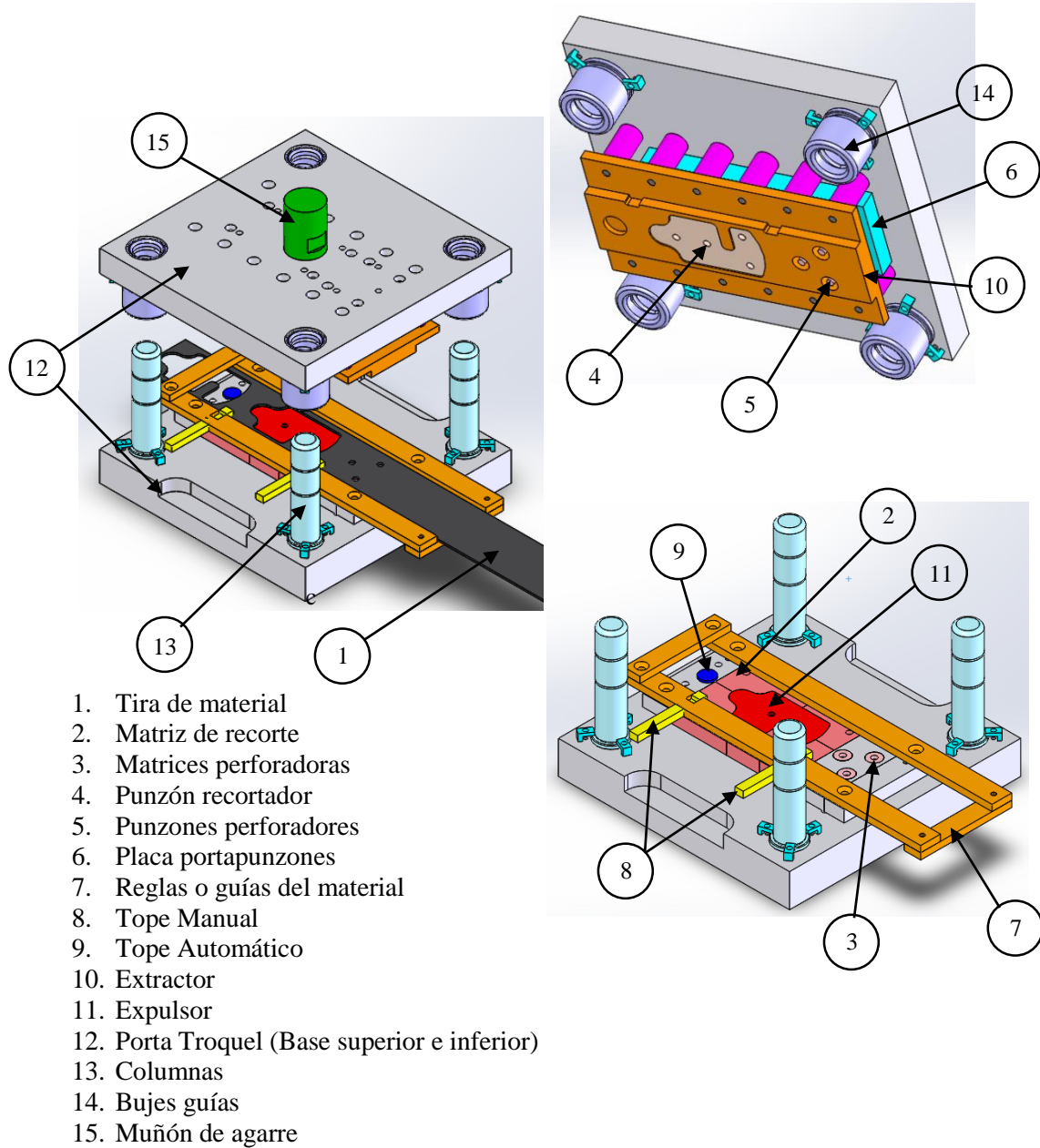
Como resultado, se tiene que el diseño que mejor se adapta a las necesidades corresponde a un troquel progresivo que realice cómo primer paso el punzonado de los tres agujeros y en un segundo paso recorte el contorno de la pieza. Debido a las bajas cantidades a producir, el troquel se alimenta manualmente y los topes son suficientes para garantizar las dimensiones dentro de las tolerancias sin incurrir en costos innecesarios de pilotos o troqueles compuestos.

Así las cosas, el diseño propuesto, incluirá las siguientes modificaciones respecto al original:

- Una matriz partida para el recorte de la chapeta, con mayor resistencia y menores costos de reparación.
- Tres juegos de punzones y matrices para troquelar los agujeros de 8 mm de diámetro que lleva la chapeta.
- Un sistema de reglas para el guiado del material.
- Un sistema de topes manuales y automáticos para controlar el paso de la tira durante el proceso de troquelado
- Un sistema de extracción de la tira mediante una placa pisadora con resortes.
- Un sistema de expulsor accionado por resorte, para la expulsión de la pieza por la parte superior.

- Un porta troquel (base superior e inferior) con sistema de guiado de 4 columnas y bujes guías, para garantizar el centrado de los componentes de corte.

En la *Figura 55* se muestra esta configuración identificando las partes principales



*Figura 55. Esquema del diseño propuesto.*

*Fuente: Autor*

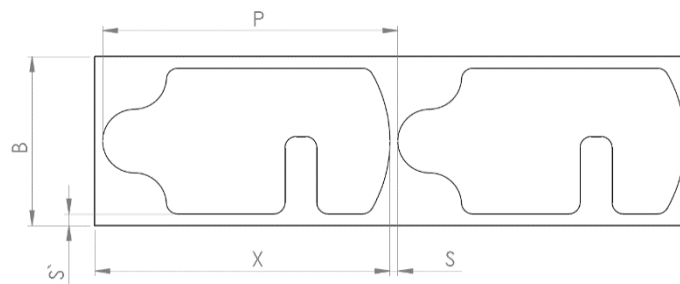
## CAPITULO 4. DISEÑO DE DETALLE

En el presente capítulo se mostrará de forma general las partes del troquel y los cálculos necesarios para su diseño, incluyendo tipo de material y tratamiento térmico, en caso de requerirse. El listado de partes y materiales necesarios y los planos definitivos de fabricación de cada componente se encuentran en la sección de Anexos.

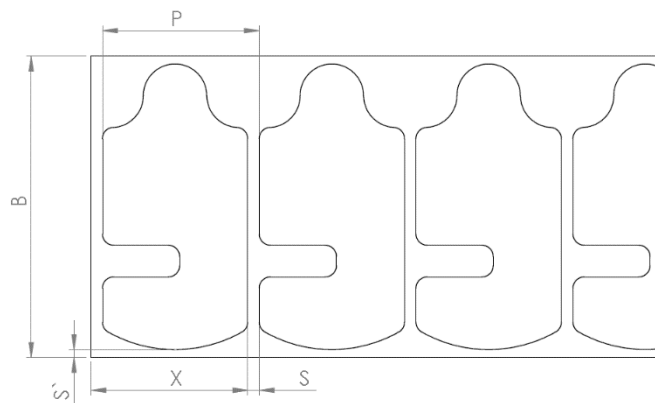
Esta etapa del diseño fue ejecutada tomando como base la secuencia de operaciones para diseñar una matriz establecidas por J.R. Paquin en el libro Diseño de Matrices [19]. Si bien esta metodología fue desarrollada hace más de 50 años pensando en facilitar el diseño y dibujo a mano de las matrices, sigue siendo eficiente para el diseño de cualquier troquel, más aún con las facilidades que los programas de diseño asistido por computador (CAD) entregan mediante el diseño paramétrico.

### TIRA DE RECORTE

Teniendo en cuenta que el perímetro de la chapeta se puede inscribir en un paralelogramo y que se trata de una producción de bajas cantidades, la disposición de la pieza sobre la tira debe ser normal y simple. Existen dos opciones para ello que difieren en cuanto a la ubicación de la pieza respecto al sentido de avance de la tira de material como se observa en la *Figura 56*.



a) Largo de la pieza en el sentido de avance del fleje (troquel original).



b) Ancho de la pieza en el sentido de avance del fleje.

*Figura 56. Posibles distribuciones de la chapeta en la tira de material.*

*Fuente: Autor*

Al contemplar las dimensiones del material disponible para la producción (tiras de 80 mm x 1829 mm), la tira de recorte sólo puede desarrollarse de acuerdo a la opción *a*, pues para la opción *b* se requiere de un ancho de tira superior al largo de la chapeta (126 mm).

A continuación, se determinan las dimensiones ideales de la tira:

Distancias mínimas  $S = S' = 1,5e = 4,5 \text{ mm}$ , establecidas de acuerdo a lo recomendado en el marco teórico. A partir de estas distancias se obtienen los siguientes datos:

Ancho  $B = 73 \text{ mm}$   
 Paso  $P = 130,5 \text{ mm}$   
 Entrada  $X = 130,5 \text{ mm}$

Sin embargo, al evaluar esta configuración y su adaptación en el diseño de la placa matriz, se encontró que la distancia mínima entre piezas ( $S$ ) de 4,5 mm, ubica las tres perforaciones del primer paso del troquel demasiado cerca al borde de la matriz de recorte, generando concentradores de esfuerzos y dimensiones más grandes para esta pieza, que finalmente generarán grandes inconvenientes en la fabricación y mantenimiento del troquel en el caso de que uno de los 4 bordes de corte llegue a fallar.

Para evitar esto, la separación entre piezas se incrementó a 27 mm, obteniendo un paso de 153 mm que permite incluir matrices de perforación independientes a la matriz de recorte, situación que se encuentra detallada en el aparte de diseño de la placa matriz.

En la *Tabla 7* se encuentra el cálculo de rendimiento, empleando las ecuaciones 1 y 2, para la configuración del troquel actual y del nuevo diseño. Es de aclarar que, para este último, se tiene un rendimiento con la tira de dimensiones ideales y otro con la tira del material disponible.

Los valores de  $P$ ,  $X$ ,  $S$  y  $S'$  para la tira de recorte del troquel actual corresponden al valor promedio de los recortes encontrados en la planta, toda vez que el troquel no tiene ningún tipo de regulación de alimentación de material y todo queda sujeto a lo que disponga el operario.

<b>RENDIMIENTO DE MATERIAL EN EL TROQUEL ACTUAL Y TROQUEL PROPUESTO</b>			
<b>Dimensiones Generales</b>			
Long. Chapeta (mm)	126		
Ancho Chapeta (mm)	64		
Área Chapeta (mm <sup>2</sup> )	6.376,15		
Espesor de tira (mm)	3		
longitud de tira (mm)	1829		
VARIABLES	TROQUEL ACTUAL	TROQUEL PROPUESTO	
		Tira Ideal	Tira Disponible
S (mm)	50	27	27
S' (mm)	8	3,5	8
B (mm)	80	71	80
P (mm)	176	153	153
X (mm)	176	129,5	129,5
Np por Tira	≈10	≈12	≈12
Área Tira (mm <sup>2</sup> )	146.320	129.859	146.320
<b>Rendimiento por cada Tira</b>	<b>44%</b>	<b>59%</b>	<b>52%</b>

Tabla 7. Cálculos de rendimiento de la tira de material  
 Fuente: Autor

Como se puede observar, con el nuevo troquel se puede lograr un incremento en el rendimiento de material, obteniendo un 52% con las dimensiones del material actual y hasta un 59% con las dimensiones ideales.

## CALCULO DE FUERZAS

### *Fuerza de Corte*

A continuación, se halla la fuerza requerida para el proceso de troquelado, por cada macho o punzón, empleando la *Ecuación 3*.

Para los punzones perforadores de diámetro 8mm el perímetro es 25,13mm, se tiene para cada punzón:

$$\begin{aligned} l &= 25,13 \text{ mm} \\ e &= 3 \text{ mm (Calibre 10) espesor de la tira} \\ K_s &= 36 \text{ kg/mm}^2 \text{ tomado de la Tabla 2 para un acero con 0,3\% de carbono} \end{aligned}$$

$$F = l \times e \times K_s = 25,13 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 36 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = \mathbf{2.714 \text{ kg}}$$

Para el punzón recortador, cuyo perímetro *calculado mediante SolidWorks* es de 395,13 mm

$$\begin{aligned} l &= 395,13 \text{ mm} \\ e &= 3 \text{ mm (Calibre 10) espesor de la tira} \\ K_s &= 36 \text{ kg/mm}^2 \text{ tomado de la Tabla 2 para un acero dulce de 0,3\% de carbono} \end{aligned}$$

$$F = l \times e \times K_s = 395,13 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 36 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = \mathbf{42.674 \text{ kg}}$$

La fuerza resultante de corte corresponde a la sumatoria de las fuerzas de los tres punzones perforadores y la fuerza del punzón recortador:

$$F_r = (3 \times 2.714 \text{ kg}) + 42.674 \text{ kg} = \mathbf{50.816 \text{ kg}}$$

### *Fuerza de Extracción*

Se emplea la *Ecuación 4*, teniendo en cuenta que la tira se diseñó con una sobremedida de separación entre piezas para facilitar el diseño. De esta manera se tiene:

$$F_{ex.} = 7\% * F = \mathbf{3.557 \text{ kg}}$$

### *Fuerza de Expulsión*

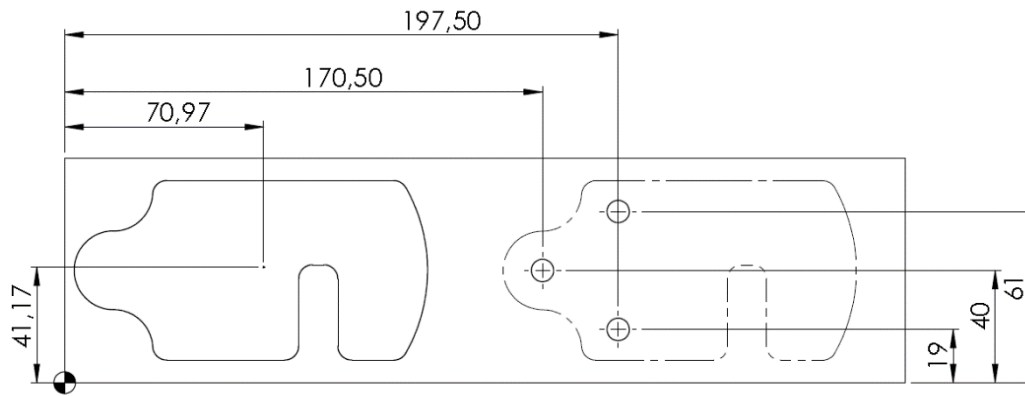
De acuerdo a la *Ecuación 5* se tiene:

$$F_{exp.} = 1,5\% * F = \mathbf{762 \text{ kg}}$$

Con lo anterior, se obtiene que la sumatoria de las fuerzas que intervienen en el funcionamiento del troquel es igual a 52,594 kg, con lo que se garantiza que la prensa disponible puede realizar el trabajo ya que tiene una capacidad de 100 ton.

## CENTRO DE PRESION

Una vez definida la configuración de la tira de recorte, se procede con el cálculo del centro de presión, tomando la esquina inferior izquierda como punto de referencia para medir las coordenadas X y Y de los centros de gravedad de los perímetros de cada punzón, tal y cómo se observa en la *Figura 57*.



*Figura 57. Coordenadas de los centros de gravedad de cada punzón.*

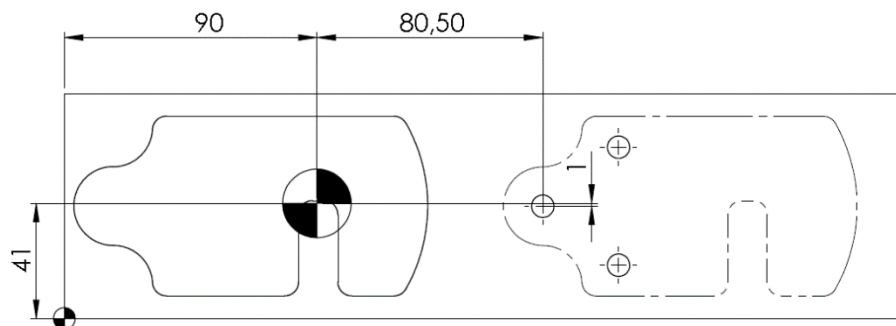
*Fuente: Autor*

Con las fuerzas de troquelado y coordenadas de cada punzón se procede a calcular el centro de presión CP, reemplazando los valores en la *Ecuación 8*.

$$CP_X = \frac{(42674 * 70,97) + (2714 * 170,5) + (2714 * 197,5) + (2714 * 197,5)}{50816} = 89,80 \approx 90mm$$

$$CP_Y = \frac{(42674 * 41,17) + (2714 * 19) + (2714 * 40) + (2714 * 61)}{50816} = 40,98 \approx 41mm$$

De lo anterior se tiene que las coordenadas del centro de presión son CP (90 ; 41), cómo se observa en la *Figura 58*.



*Figura 58. Coordenadas del Centro de Presión del troquel*

*Fuente: Autor*

Nótese que los valores de X y Y se redondean con el fin de facilitar la ubicación del centro de presión respecto al centro de la primera perforación de la chapeta, teniendo en cuenta que la variación que esto genera se puede considerar despreciable.

## JUEGO ENTRE MATRIZ Y PUNZON

El juego entre matriz y punzón depende directamente del tipo de material que se va a cortar y su aplicación en la matriz o punzón, dependerá del resultado que se quiera obtener en cada paso del troquel.

Teniendo en cuenta que el material de la chapeta es acero A36, se tienen los siguientes resultados:

- Por la regla general inglesa, para un acero dúctil  $J = 0,10 \times e = 0,10 \times (3\text{mm}) = 0,3 \text{ mm}$ .
- De la *Figura 7*, para un espesor de 3 mm, material acero dulce, se obtiene un valor de juego de  $0,20 \text{ mm}$ .

Juego promedio,  $J = 0,25 \text{ mm}$

Juego empleado en el diseño,  $J = 0,3 \text{ mm}$

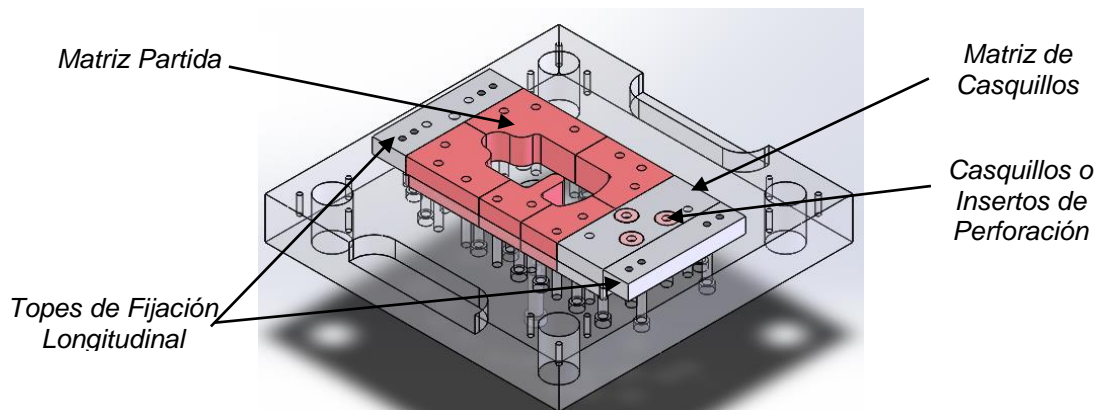
Se decide trabajar con el valor obtenido en *a)*, dado que, en la práctica, se han obtenido excelentes resultados con el valor que proporciona la regla inglesa para los diferentes troqueles fabricados en el taller.

## PLACA MATRIZ

Cómo se mencionó anteriormente, la separación mínima entre piezas (*S*) en la tira de material se incrementó considerablemente para facilitar el diseño y fabricación de la matriz logrando un paso más amplio entre cada operación que permitió separar el recorte del contorno y las tres perforaciones en componentes diferentes, de la siguiente manera:

- Una matriz de casquillos para las tres perforaciones (primer paso).
- Una matriz partida para el recorte del contorno (segundo paso)

Tanto la matriz del contorno, como la portamatriz de casquillos, se fijan a la placa base por medio de tornillos y pines de posición para garantizar su estabilidad. Adicionalmente, para contrarrestar las fuerzas perpendiculares que se generan en el troquelado, ambas se encuentran empotradas en una cavidad de la placa base que evita desplazamientos transversales, y dos topes de fijación en los extremos para prevenir desplazamientos longitudinales (*Figura 59*).



*Figura 59. Configuración de la matriz.*

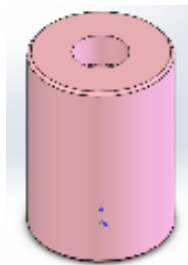
*Fuente: Autor*

La matriz de casquillos consiste una placa de acero A36 (portamatriz), en la que se insertan tres casquillos cilíndricos fabricados en acero K-110 templado a una dureza de 58 a 60 HRC, y cuya ubicación corresponde a la distancia entre centros que se registra en el plano de la chapeta. La fijación de los casquillos a la portamatriz se hace mediante un ajuste de apriete y están apoyados a la placa base, por lo tanto, no es necesario otro tipo de fijación dado que en el proceso de troquelado no se generan fuerzas que tiendan a extraerlos de su posición.

En este paso, lo que se busca es obtener la medida del agujero, por lo tanto, la dimensión interna de la matriz corresponde al diámetro de la perforación más el juego, como sigue:

$$d = D + J = 8 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 8,3 \text{ mm}$$

Este diámetro de trabajo tiene una longitud de 6 mm, a partir de los cuales se amplía para facilitar la expulsión del retal.



*Figura 60. Casquillo o inserto de perforación.  
Fuente: Autor*

La matriz para el contorno consta de 5 piezas fabricadas en acero K-110 templado a una dureza de 58 a 60 HRC que unidas entre sí forman el contorno de la chapeta, de tal manera que si se tiene alguna fisura basta con sustituir sólo la sección afectada. Esto es de gran ayuda teniendo en cuenta que, para poder obtener la figura de la chapeta, se requiere una sección con una saliente altamente susceptible a fallar.

Dado que en este paso lo que se requiere es la medida exterior del recorte, las medidas internas de la matriz corresponden exactamente a las indicadas en el plano de la chapeta y el juego es aplicado al macho o punzón.

Los valores recomendados de espesor y sobremedida respecto a los bordes de corte se obtuvieron de la *Figura 25*. Para una tira de material con espesor entre 1/16 y 1/8 de pulgada, se tiene:

*Espesor,  $B = 1,125'' = 28,6 \text{ mm}$ , para el diseño se empleó un espesor de 30 mm.*

*Sobremedida al borde de corte,  $C = 1,26556'' = 32,14 \text{ mm}$ , este valor corresponde a una matriz entera. Teniendo en cuenta que el diseño corresponde a una matriz partida, la distancia al borde de cada sección de matriz está en un rango de 26 mm a 37mm, garantizando que los puntos de menor distancia coincidan siempre con una línea de división que disminuya la concentración de esfuerzos.*

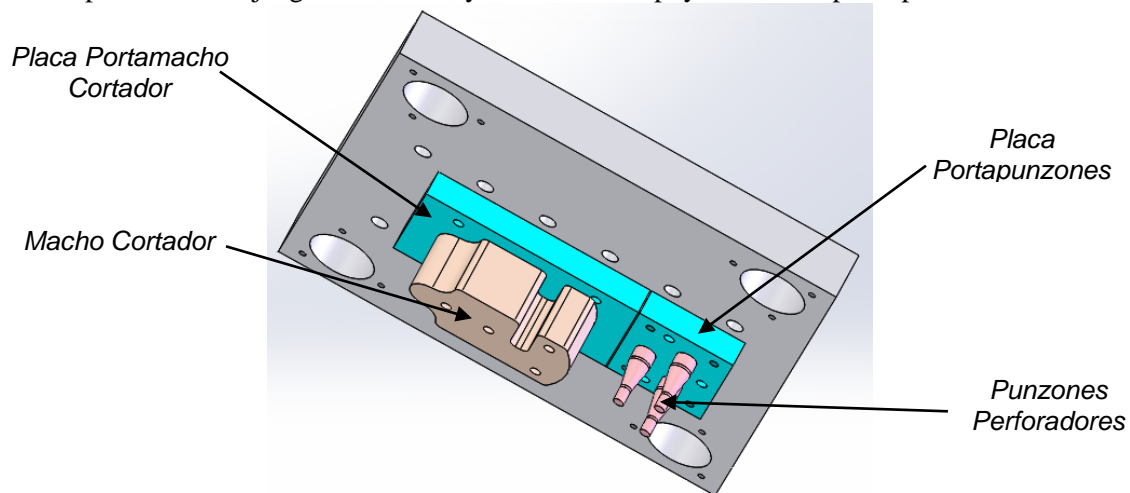
## PUNZONES

Para el diseño de los punzones, el principal cálculo que se debe hacer es la longitud máxima de pandeo, que para este troquel está limitada por el diámetro de los punzones perforadores ya que el



macho cortador presenta una sección bastante grande que no implica riesgos de pandeo. Así como las matrices, los punzones están fabricados de acero K-110 con un temple de 58 a 60 HRC.

En la *Figura 61* se muestra la configuración de los punzones. El macho cortador presenta la geometría de la chapeta menos el juego de 0,3 mm, y se encuentra apoyado en una placa portamacho.



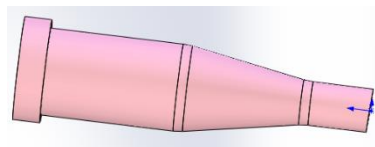
*Figura 61. Configuración de los punzones.*  
Fuente: Autor

Los punzones perforadores van posicionados en una placa portapunzones, la cual se fija a la placa superior por medio de tornillos y pines. Tienen una sección de trabajo igual al diámetro de las perforaciones que lleva la chapeta (8 mm), ya que la holgura fue aplicada en las matrices. Con este diámetro y la *Ecuación 9* se calculó la longitud máxima de pandeo, considerando un apoyo simple, como sigue:

$$L = \frac{\pi d}{8} \sqrt{\left(\frac{E}{K_s} \frac{d}{e}\right)} = \frac{\pi \times 8 \text{ mm}}{8} \sqrt{\left(\frac{21414 \text{ kg/mm}^2 (8 \text{ mm})}{36 \text{ kg/mm}^2 (3 \text{ mm})}\right)} = 125,12 \text{ mm}$$

Los punzones se diseñaron con una longitud total de 65mm, el extremo de trabajo tiene un diámetro constante de 8mm por una longitud de 11 mm, a partir de la cual el punzón toma una forma cónica aumentando su diámetro, el filo de corte se rectificó con una inclinación de 3°, con el fin de que el corte se haga tipo cizalla para disminuir el esfuerzo necesario en el troquelado. Con estas dos condiciones, se tiene absoluta certeza de que no habrá ningún inconveniente por pandeo.

Para garantizar su fijación, los punzones entran en la placa portapunzones con un ajuste de apriete, y cuentan con una cabeza o escalón que evita que sean expulsados por la adhesión de estos a la tira de material.



*Figura 62. Punzón perforador.*  
Fuente: Autor

## PLACA PORTA PUNZONES

La placa portapunzones, fabricada en acero A36, se dividió en dos partes. Una placa porta macho cortador, cuyo objetivo, además de soportar el punzón, es darle altura al macho con un material más económico, y una placa porta punzones en la que se ubican los tres machos perforadores. Ambas placas se fijan a la placa base mediante tornillos y pines de posicionamiento, de la misma forma que el macho cortador se fija a la placa porta macho, mientras que los punzones se fijan mediante un ajuste de apriete y se retienen por el escalón o cabeza que llevan en la parte inferior.

El espesor recomendado de la placa portapunzones se obtiene de la *Tabla 2*, para un diámetro de ajuste del punzón entre 1/2" y 5/8" el espesor corresponde a 7/8" (22 mm).

## PLACA SUFRIDERA

Para este troquel, teniendo en cuenta las dimensiones de los punzones, y que el macho está sobrepuesto a una placa porta macho, no es necesario el empleo de placa sufridera ya que esta función será realizada directamente por la placa base.

## REGLAS O GUIAS DE MATERIAL

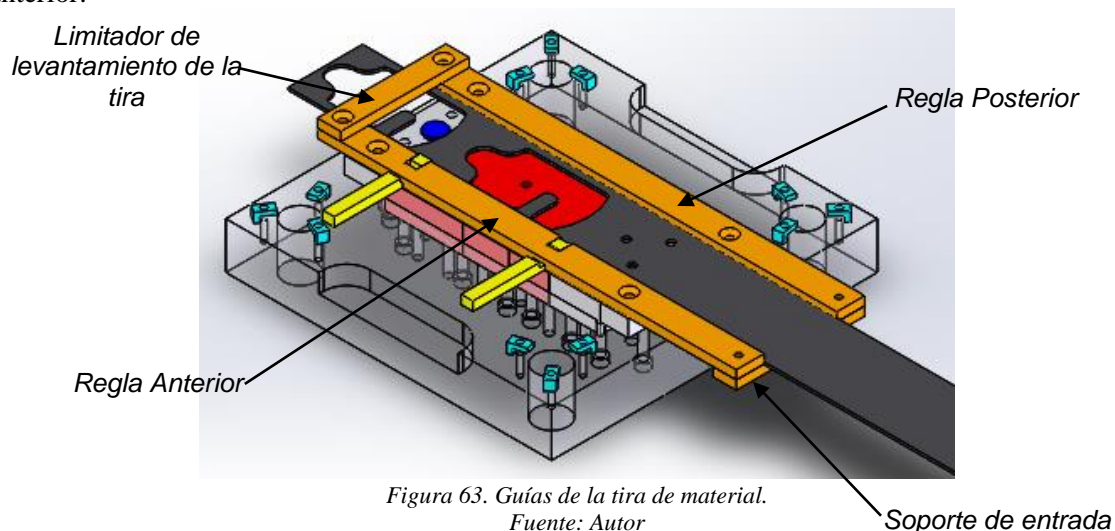
Para las guías de material, se adaptó un sistema que, además de guiar el material y servir de apoyo en su entrada al troquel, evite que la tira se levante en la salida del troquel durante el proceso de alimentación manual. Para lograr esto, el sistema de guiado se compone de 4 piezas unidas entre sí, y al troquel, mediante tornillos avellanados (*Figura 63*):

*Distancia de separación entre guía anterior y posterior.*

De la *Figura 32*, se tiene que, para una tira de espesor de 1/16" a 1/8" y alimentación manual, la distancia entre la regla anterior y posterior equivale al ancho de la tira más un 3/32" (2,4 mm), es decir 82,4 mm.

*Espesor de las guías de material.*

El espesor mínimo recomendado para las reglas se obtiene de la *Figura 33*, con un resultado de 3/16", sin embargo, se trabajó con lamina de acero A36 calibrado de 3/8" de espesor, para facilitar el mecanizado de los alojamientos de los tornillos y de los dos topes manuales que se ubican en la regla anterior.



## TOPES

Para garantizar el paso de avance de la tira y una correcta ubicación de las perforaciones respecto al contorno de la chapeta, el troquel cuenta con dos topes manuales y un tope automático, como se muestra en la *Figura 64*.

### Topes manuales.

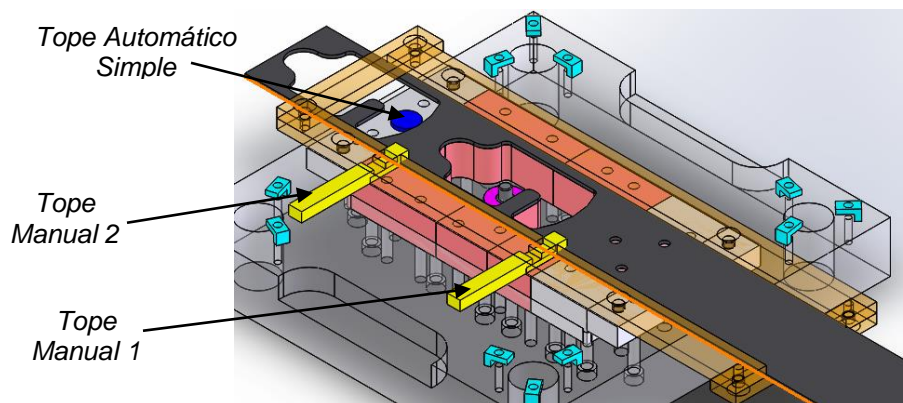
Los topes manuales, fabricados en acero A-36, controlan la entrada de la tira al troquel y se emplean únicamente en los dos primeros golpes de la prensa, de la siguiente manera:

- Tope 1. Posiciona la tira para el primer paso del troquel, en donde se realizan las perforaciones, garantizando la distancia mínima de 4,5 mm entre el borde de la tira y el contorno de la chapeta después del recorte.
- Tope 2. Posiciona la tira en la segunda estación del troquel, en donde se obtiene la primera chapeta completa, y las perforaciones de la segunda, garantizando la medida del paso (P) de 153 mm.

A pesar de lo indicado en el marco teórico respecto al dimensionamiento de estos topes, se modificó su geometría con un diseño más simple, pero de iguales resultados.

### Tope automático

Consiste en un tope cilíndrico simple, fabricado en acero Arne (AISI O1) y templado con una dureza de 48 a 50 HRC, que entra en ajuste de apriete en el tope de fijación longitudinal izquierdo. Este tope da el paso de avance a partir del tercer ciclo de la máquina y hasta que se haya empleado todo el material de la tira, posicionándola con el extremo derecho de la abertura que queda después de cada recorte



*Figura 64. Disposición de los topes manuales y automáticos.  
Fuente: Autor*

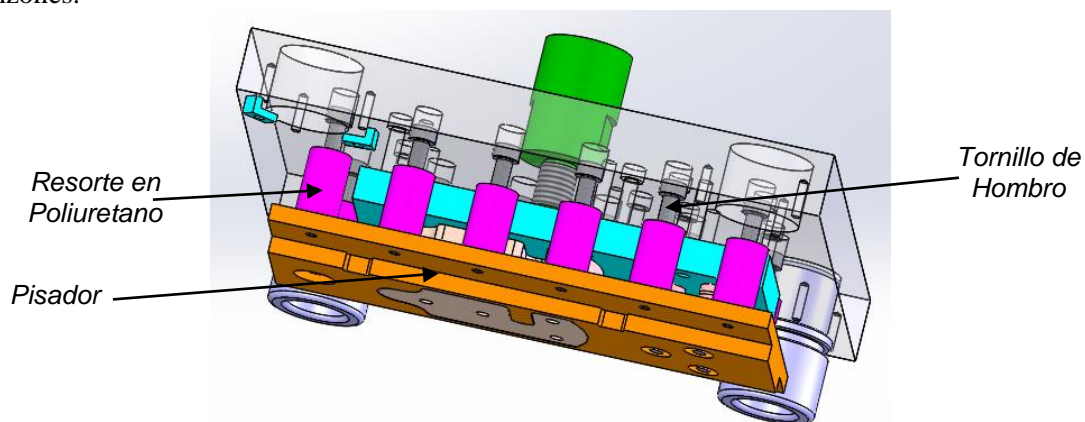
## EXTRACTORES Y EXPULSORES

### *Sistema de Extracción*

Cómo sistema de extracción, se diseñó una placa pisadora con resortes, que cumple con tres importantes funciones:

- Guiar los punzones durante la operación de corte.
- Pisar la tira para mantenerla firme durante el corte.
- Extraer la tira de los punzones después de cortar.

El pisador durante el descenso de la prensa presiona la tira manteniéndola fija durante el troquelado, mientras que los resortes montados en su superficie se comprimen. En el movimiento de ascenso los resortes recuperan su longitud generando la fuerza necesaria para extraer la tira del macho y los punzones.



*Figura 65. Sistema de extracción mediante placa pisadora.*

*Fuente: Autor*

Este pisador se fabricó en acero A-36 y se emplearon resortes cilíndricos de poliuretano, en lugar de resortes helicoidales en acero.

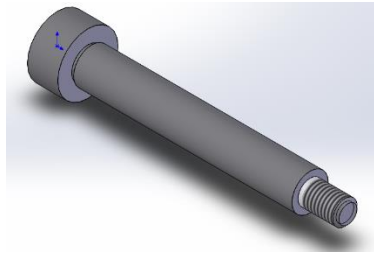
Del catálogo de FIBRO (*Anexo A*), se selecciona el resorte cilíndrico de poliuretano de diámetro externo 25mm y longitud 40mm que realiza una fuerza máxima de 4120 N a una compresión de 12mm. En el diseño, la compresión promedio será de 9 mm, para lo cual realizará una fuerza aproximada de 3090 N (315 kgf).

La cantidad de resortes necesarios se obtiene, de la ecuación 10, dividiendo la fuerza de extracción entre la fuerza de cada resorte, de la siguiente manera:

$$No. Resortes = \frac{F_{extracción}}{F_{resorte}} = \frac{3557 \text{ kgf}}{315 \text{ kgf}} = 11,29$$

$$No. Resortes \approx 12$$

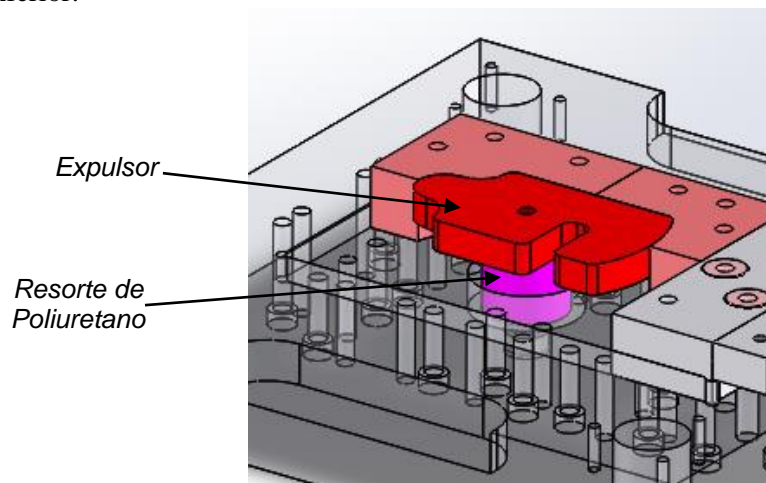
Cada resorte lleva en el centro un tornillo de hombro como el que se muestra en la *Figura 66*, el cual garantiza un movimiento centrado del pisador.



*Figura 66. Tornillo de hombro.  
Fuente: Autor*

### *Sistema de Expulsión*

En este diseño se ha decidido incluir un sistema de expulsión de la chapeta por la parte superior del troquel, evitando de esta manera mecanizar una abertura de tal dimensión que termine debilitando la base inferior.



*Figura 67. Sistema de expulsión de la Chapeta.  
Fuente: Autor*

El sistema cuenta con un expulsor, un resorte de poliuretano y un tornillo de hombro que se encarga de guiar el desplazamiento del expulsor.

Del *Anexo A*, se selecciona el resorte cilíndrico de poliuretano de diámetro externo 40 mm y longitud 32 mm que realiza una fuerza máxima de 11000 N a una compresión de 9,6 mm. En el diseño, la compresión promedio será de 9 mm, para lo cual realizará una fuerza aproximada de 10312,5 N (1052 kgf), lo cual es suficiente teniendo en cuenta que la fuerza de expulsión es de 762 kgf.

Este resorte se aloja en la placa base, en un agujero cuyo diámetro es ligeramente superior al diámetro máximo que alcanza el resorte cuando se comprime 9,6 mm (*Figura 67*).

El expulsor, cuya geometría concuerda con el contorno de la chapeta, se fabricó en acero Chronit (Bohler), el cual brinda gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento sin la necesidad de tratamientos térmicos adicionales.

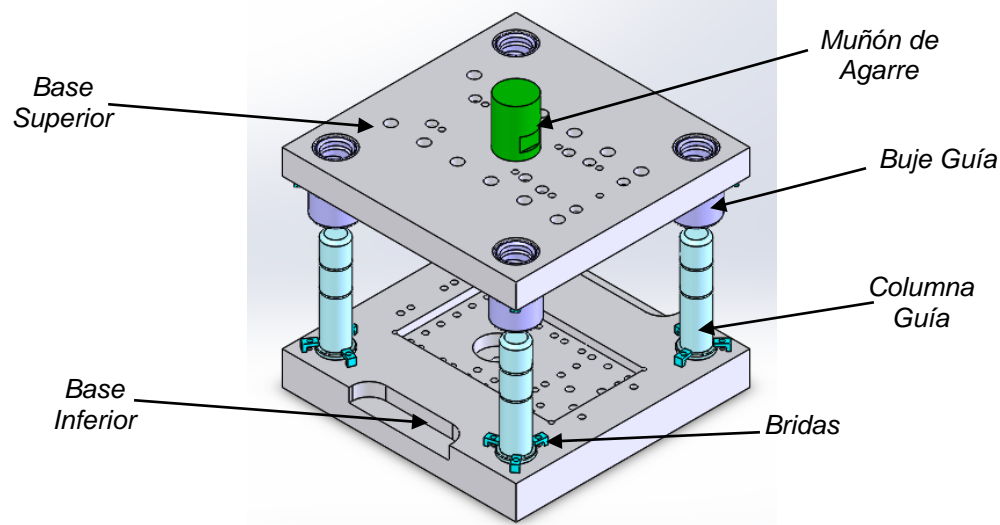
## PORTA TROQUEL

El conjunto porta troquel, también denominado Die Set, está compuesto por las bases superior e inferior y el sistema de guiado del troquel.

Ambas bases se fabrican en acero A-36. La base inferior se fija a la mesa de la prensa troqueladora mediante bridas en la parte frontal y posterior, mientras que la base superior se fija al ariete de la prensa mediante un muñón de acero AISI 1045.

El sistema de guiado se compone por cuatro columnas y cuatro bujes alojados, de manera equidistante, mediante ajuste de apriete en la base inferior y superior, respectivamente. Tanto las columnas como los bujes se fabricaron en acero AISI 8620, con un tratamiento superficial de cementación a 58 – 60 HRC, con el fin de contrarrestar el desgaste por fricción. Adicionalmente, cuentan con ranuras de lubricación, para garantizar un desplazamiento suave durante el proceso de troquelado.

Cómo medida de seguridad, se han dispuesto tres bridas por cada buje y columna, con el fin de contrarrestar cualquier fuerza que tienda a separar los elementos de guiado de sus respectivas bases.



*Figura 68. Porta Troquel.  
Fuente: Autor*

## CAPITULO 5. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los análisis comparativos entre el troquel original y el troquel progresivo

### *Tiempos de producción*

Teniendo en cuenta que el nuevo troquel incluye el proceso de perforado de los tres agujeros de Ø 8 mm, se genera una disminución en el tiempo de producción de la chapeta como se observa en la *Tabla 8*.

<b><i>Tiempos de Producción de la Chapeta (segundos)</i></b>		
	<i>Troquel Original (1 Paso + Taladrado)</i>	<i>Troquel Progresivo (2 Pasos)</i>
<i>Corte</i>	5	5
<i>Perforado</i>	367	5
<b><i>Total</i></b>	<b>372</b>	<b>10</b>

*Tabla 8. Comparativo de Tiempos de producción de la Chapeta*  
*Fuente: Autor*

Así las cosas, con el troquel progresivo se invierten 362 segundos menos en la producción de cada chapeta. Si se considera un valor de hora máquina de \$35000 tanto para la troqueladora como para el taladro de árbol se tiene el siguiente ahorro por pieza:

$$\text{Ahorro por Tiempo Producción} = 362s \left( \frac{1min}{60s} \right) \left( \frac{1h}{60min} \right) \left( \frac{\$35000}{1h} \right) = \$3519$$

Es de aclarar que no se contempla el tiempo de doblado de la pieza dado que para ambos casos el procedimiento es el mismo, por lo tanto, la diferencia de tiempos de producción es independiente de esta operación.

### *Aprovechamiento de material*

Con el troquel progresivo se tiene un mejor aprovechamiento de material de la tira de recorte, pasando de 10 a 12 piezas por tira, como lo indica la *Tabla 9*, donde se establece un valor de \$3,451/kg por corte de lámina Hot Rolled ASTM A-36, de acuerdo a información entregada por el proveedor *Cía. General de Aceros*.



<b>Costo de Material por Chapeta ASTM A-36</b>			
<b>Datos Generales</b>			
Densidad material (kg/m <sup>3</sup> )	7.860		
Espesor de tira (m)	0,003		
Longitud de tira (m)	1,829		
Valor por kg	\$ 3.451		
Dimensiones	Troquel Original	Troquel Progresivo	
		Tira Ideal	Tira Disponible
Ancho de tira (m)	0,08	0,071	0,08
Volumen de tira (m <sup>3</sup> )	0,00043896	0,00038958	0,00043896
Peso de tira (kg)	3,45	3,06	3,45
Precio por tira	\$ 11.907	\$ 10.567	\$ 11.907
Np por Tira	10	12	12
<b>Costo de Material por Pieza</b>	<b>\$ 1.191</b>	<b>\$ 881</b>	<b>\$ 992</b>

Tabla 9. Comparativo Costo de Material por Chapeta  
Fuente: Autor

De esta manera, el troquel progresivo brinda un ahorro de \$199 por pieza con la tira de material disponible, y de \$310 si se emplea la tira con dimensiones ideales.

### **Recuperación de la inversión**

El costo de fabricación de este troquel es de \$8,925,000 de acuerdo a la cotización entregada por el taller *Mecanizado Eficaz DR. (Anexo E)*. Si se contempla un costo de \$800.000 por el diseño y generación de planos, de acuerdo al mercado, se tiene una inversión total de \$9,725,000.

El ahorro por cada chapeta fabricada con el troquel progresivo corresponde a:

*Ahorro por Chapeta = Ahorro Tiempos de Producción + Ahorro de Material*

*Ahorro por Chapeta = \$3.519 + \$199 = \$3. 718* Con la tira de material disponible.

Contemplando un tiempo de 10 segundos por pieza, el troquel puede producir alrededor de 360 piezas por hora y el ahorro en este tiempo de producción es:

$$\text{Ahorro por Hora Troquel Progresivo} = \frac{\$3.718}{\text{pieza}} \times \frac{360 \text{ piezas}}{\text{hora}} = \$1.338.480/\text{hora}$$

$$\text{Tiempo Recuperación de la Inversión} = \frac{\$9.725.000}{\$1.338.480/\text{hora}} = 7,26 \text{ horas}$$

Así las cosas, la inversión en la fabricación del nuevo troquel se recupera con tan solo 7,26 horas de trabajo, o lo que es lo mismo, con la producción de 2.614 chapetas, lo cual es una recuperación bastante rápida.



### **Costos de mantenimiento**

El comparativo de costos de mantenimiento se realiza teniendo en cuenta únicamente el reemplazo de la sección de la matriz que está más propensa a fallar y por la cual el cliente manifestó su principal preocupación. De acuerdo a lo informado por el taller *Mecanizado Eficaz DR*, reemplazar esta sección, incluyendo fabricación, ajuste en troquel y rectificado general para recuperar todos los filos es:

*Troquel Original:*       \$ 650.000

*Troquel Progresivo:*   \$ 350.000

***Ahorro:*                   \$ 300.000**

Esta reducción de aproximadamente 46% obedece a que, en el troquel original, la pieza que contiene la zona más débil de la matriz es casi 5 veces más grande que en el troquel progresivo, incrementando costos de material, mecanizado y tratamiento térmico.

### **Impacto Ambiental**

Considerando los resultados de rendimiento de la tira de recorte registrados en la *Tabla 7* y *9*, con el troquel progresivo hay un mejor aprovechamiento de material en la producción de la chapeta, lo que resulta en una disminución de desperdicios como se observa a continuación.

<b><i>Desperdicio de Material</i></b>			
	<b><i>Troquel Original</i></b>	<b><i>Troquel Pogramativo</i></b>	
		<b><i>Tira Ideal</i></b>	<b><i>Tira Disponible</i></b>
<i>Peso de tira (kg)</i>	3,45	3,06	3,45
<i>Rendimiento (Tabla 7)</i>	44%	59%	52%
<i>Desperdicio material</i>	56%	41%	48%
<b><i>Peso desperdicio por Tira (kg)</i></b>	<b>1,93</b>	<b>1,25</b>	<b>1,66</b>

*Tabla 10. Desperdicio de Material por Tira de Recorte*  
*Fuente: Autor*

Con el troquel progresivo se depositan 0,27 kg menos de desperdicio por cada tira de material trabajado, y si se emplea la tira con las dimensiones ideales se pueden lograr 0,68 kg menos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió el objetivo del proyecto, el cual consiste en diseñar un troquel progresivo para el corte y perforado de la chapeta #4, empleada como elemento de unión de los paneles laterales en las carrocerías de estacas para semirremolques, generando un impacto ambiental y económico considerable por la disminución en el desperdicio de material y disminución de los costos de producción y mantenimiento.

Se hizo un análisis funcional del troquel original y evaluación del proceso de producción con los cuales se direccionó el diseño del nuevo troquel en la solución de las falencias y oportunidades de mejora encontradas.

Se realizaron los cálculos necesarios para el diseño y especificación de los elementos que componen el troquel, incluyendo tipo de material y tratamiento térmico, de acuerdo a la función que deben cumplir, generando un listado de partes y planos definitivos de fabricación con los que se obtuvo la estimación de los costos de mecanizado y ajuste del herramental.

Desde el punto de vista económico, el troquel progresivo genera un gran impacto en la disminución del costo de producción por chapeta (\$3.718 menos por pieza), logrando una rápida recuperación de la inversión con la producción de 2.614 piezas. Así mismo, los costos de mantenimiento, en caso de una eventual fractura de la zona más débil, se reducen en un 46% de lo que se viene pagando con el troquel original.

Este proyecto de grado, además de brindar una solución a una necesidad real, se convierte en una guía práctica para el diseño de cualquier troquel de corte y perforado, simple o progresivo, realizando un aporte en el conocimiento del proceso de manufactura por troquelado.

Es de vital importancia, que una vez se haya consumido el material de corte disponible, el cliente compre el material con las medidas ideales para disminuir desperdicios y costos de producción.

Se recomienda establecer una hoja de vida para el troquel, en la que se lleve un registro de la cantidad de piezas producidas, rectificado de filos, fallas, etc., con lo cual se pueda definir un plan de mantenimiento preventivo y de ser necesario, mantener un stock de insertos como repuesto, con el fin de disminuir los tiempos muertos por deficiencias propias del desgaste natural de los elementos de corte.

## TRABAJOS FUTUROS

Cómo trabajo futuro se plantea diseñar un herramental para el doblado de la chapeta, que garantice uniformidad y facilidad de montaje, en búsqueda de una mayor productividad del proceso de conformado de la pieza.

Se sugiere estructurar un departamento de troquelado, que mantenga un registro completo de todos los troqueles existentes en la compañía identificando las operaciones críticas del proceso y se enfoque en el desarrollo y/o evolución de los herramentales en aras de sacar el máximo provecho que este proceso de transformación de metal brinda para la producción de piezas en serie.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Rossi, Estampado en Frío de La Chapa, Barcelona: Editorizal Científico - Médica, 1964.
- [2] A.S.T.M.E., «Diseño de Herramientas Para Trabajo en Prensas Troqueladoras,» de *Principios Fundamentales Para el Diseño de Herramientas*, Ciudad de México, Compañía Editorial Continental, S.A., 1979.
- [3] R. Jaramillo, «Guía para diseño y construcción de un troquel: caso aplicado,» Cali, 1978.
- [4] Universidad del Valle, «Guía para el diseño de troqueles,» Cali, 1980.
- [5] Universidad del Valle, «Diseño y construcción de un troquel de corte y conformado con fines instructivos,» Cali, 1984.
- [6] J. J. Muñoz y C. Valenzuela, «Guía para diseño y construcción de troqueles,» Cali, 1995.
- [7] L. S. Alvarez, «Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica,» Cali, 2009.
- [8] I. Suchy, handbook of die desing, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1998.
- [9] American Society of Tool and Manufacture Engineers, Die design handbook: A practical reference book, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1955.
- [10] S. Chávez y M. Sánchez, «Diseño y fabricación de un troquel para placas de apagador de aluminio,» Mexico D.F., 2008.
- [11] A. Casales y R. Jiménez, «Diseño y fabricación de un troquel para la manufactura de carátulas de pedales,» México D.F., 2008.
- [12] Á. Arizmendi y M. A. García, «Troquel para tapa de rodillo,» Guadalajara, 2004.
- [13] M. Á. Archundia, «Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos,» México D.F., 2015.
- [14] L. A. Martinez, A. Almanza, R. Lesso, D. C. Aguiler y Martín, «Diseño de troquel para el proceso de corte fino usando herramientas CAD-CAE,» de *Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Salamanca, 2012.
- [15] The International Journal Of Engineering And Science (IJES), «Design of Combined Press Tool for the Manufacturing of Rice Thresher Blade (Case Study at Amhara Agricultural Mechanization and Food Science Research Center-Ethiopia),» *THE IJES*, vol. 3, n° 4, pp. 90-107, 2014.
- [16] International Journal of Research in Engineering and Technology, «DESIGN AND ANALYSIS OF PUNCHING DIE,» *IJRET*, vol. 5, n° 4, pp. 249-255, 2016.
- [17] E. Soroa y L. Gimena, «Diseño paramétrico con sistemas CAD/CAM 3D. Aplicación al modelado de un troquel de corte y punzonado,» de *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Santander, España, 2002.
- [18] «DOCSLIDE.NET,» [En línea]. Available: <https://docslide.net/documents/libro-conformado.html>.
- [19] J. R. Paquin, Diseño de Matrices, Barcelona: Montaner y Simon , S.A., 1966.
- [20] T. Lopez Navarro, Troquelado y Estampación, Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1958.
- [21] «DE-DUCE-TU,» [En línea]. Available: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>. [Último acceso: 20 Septiembre 2017].
- [22] A. I. Escribano, «Documentación y análisis: Conformado de productos sin arranque de viruta,» [En línea]. Available: <http://de-duce-tu.blogspot.com.co/p/4corte-y-punzonado.html>. [Último acceso: 25 Marzo 2018].
- [23] S. R. S.A.. [En línea]. Available: <http://www.surisa.es/elastomeros.html>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [24] FIBRO, «FIBRO,» [En línea]. Available: [www.fibro.com](http://www.fibro.com).
- [25] WalterTools, «Walter Tools,» Walter Tools, [En línea]. Available: <https://www.walter-tools.com/es-es/Pages/default.aspx>. [Último acceso: 15 01 2017].
- [26] BlueMaster, «Blue Master,» [En línea]. Available: <http://bluemaster.es/es-ES/Contenido/Index/Documentaciontecnica>. [Último acceso: 15 01 2017].

- [27] R. L. Norton, «El Proceso de Diseño,» de *Diseño de Maquinaria*, Mexico, DF, McGraw-Hill, 2000, pp. 8-16.
- [28] «DICOMAQ,» [En línea]. Available: <http://www.dicomaq.cl/site/index.php/es/productos/maquinaria-metalmecanica/item/175-prensa-excéntrica>. [Último acceso: 20 Septiembre 2017].
- [29] J. I. García Melo, Fundamentos del Diseño Mecánico, Cali, Colombia.: Universidad del Valle, 2014.

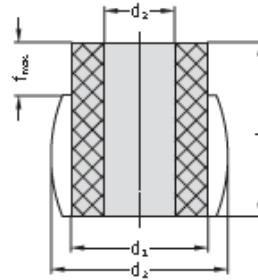
## ANEXO A. CATALOGO FIBROFLEX



### FIBROFLEX®-Muelle redondo 90 Shore A, para DIN ISO 10069-1



246.6.



#### Descripción:

Muelles FIBROFLEX® son un producto Poliuretano-Elastómero altamente elástico. La dureza Shore es la característica que distingue los diferentes componentes de FIBROFLEX®. La misma tiene una importancia decisiva en el momento de elegir el tipo correcto en cada caso.

#### Material:

Poliuretano 90 Shore A

Color: amarillo

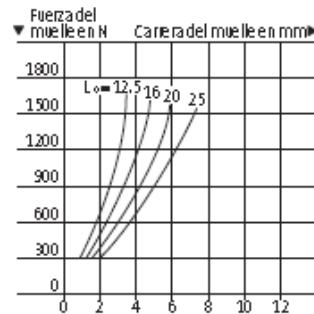
#### Nota:

Las propiedades físicas de los Poliuretano-Elastómeros hacen propensos a cierta tendencia a la sedimentación, dependiente del calor producido por la fricción interna de la rapidez y carrera de compresión, así como de la carga y la dureza de Shore. La misma puede alcanzar del 4% al 7% de la longitud  $L_0$ .

### 246.6. FIBROFLEX®-Muelle redondo 90 Shore A, para DIN ISO 10069-1

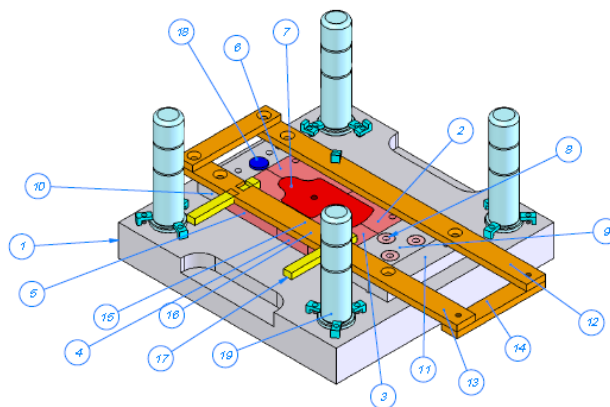
Código	d <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	f max.	F max. [N]	Código	d <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	f max.	F max. [N]
246.6.016.012	16	12.5	6.5	21	3.6	1680	246.6.100.080	100	80	21	130	24	75000
246.6.016.016	16	16	6.5	21	4.8	1650	246.6.100.100	100	100	21	130	30	75000
246.6.016.020	16	20	6.5	21	6	1620	246.6.100.125	100	125	21	130	37.5	71000
246.6.016.025	16	25	6.5	21	7.5	1580	246.6.125.032	125	32	27	160	9.6	150000
246.6.020.016	20	16	8.5	26	4.8	2600	246.6.125.040	125	40	27	160	12	142500
246.6.020.020	20	20	8.5	26	6	2550	246.6.125.050	125	50	27	160	15	132000
246.6.020.025	20	25	8.5	26	7.5	2530	246.6.125.063	125	63	27	160	18.9	125000
246.6.020.032	20	32	8.5	26	9.6	2500	246.6.125.080	125	80	27	160	24	118000
246.6.025.020	25	20	10.5	32	6	4300	246.6.125.100	125	100	27	160	30	115000
246.6.025.025	25	25	10.5	32	7.5	4300	246.6.125.125	125	125	27	160	37.5	113000
246.6.025.032	25	32	10.5	32	9.6	4150	246.6.125.160	125	160	27	160	48	111300
246.6.025.040	25	40	10.5	32	12	4120							
246.6.032.032	32	32	13.5	42	9.6	6400							
246.6.032.040	32	40	13.5	42	12	6350							
246.6.032.050	32	50	13.5	42	15	6300							
246.6.040.032	40	32	13.5	52	9.6	11000							
246.6.040.040	40	40	13.5	52	12	10900							
246.6.040.050	40	50	13.5	52	15	10800							
246.6.040.063	40	63	13.5	52	18.9	10750							
246.6.040.080	40	80	13.5	52	24	10700							
246.6.050.032	50	32	17	63	9.6	17400							
246.6.050.040	50	40	17	63	12	17300							
246.6.050.050	50	50	17	63	15	17000							
246.6.050.063	50	63	17	63	18.9	16650							
246.6.050.080	50	80	17	63	24	16500							
246.6.050.100	50	100	17	63	30	16400							
246.6.063.032	63	32	17	81	9.6	30100							
246.6.063.040	63	40	17	81	12	29500							
246.6.063.050	63	50	17	81	15	28900							
246.6.063.063	63	63	17	81	18.9	28000							
246.6.063.080	63	80	17	81	24	27500							
246.6.063.100	63	100	17	81	30	27300							
246.6.063.125	63	125	17	81	37.5	26800							
246.6.080.032	80	32	21	104	9.6	53000							
246.6.080.040	80	40	21	104	12	50500							
246.6.080.050	80	50	21	104	15	48000							
246.6.080.063	80	63	21	104	18.9	46500							
246.6.080.080	80	80	21	104	24	45500							
246.6.080.100	80	100	21	104	30	44900							
246.6.080.125	80	125	21	104	37.5	44000							
246.6.100.032	100	32	21	130	9.6	90000							
246.6.100.040	100	40	21	130	12	84800							
246.6.100.050	100	50	21	130	15	81000							
246.6.100.063	100	63	21	130	18.9	78000							


246.6.016.  
Ø 16/90 Shore A



## ANEXO B. LISTA DE MATERIALES Y ENSAMBLE GENERAL DEL TROQUEL

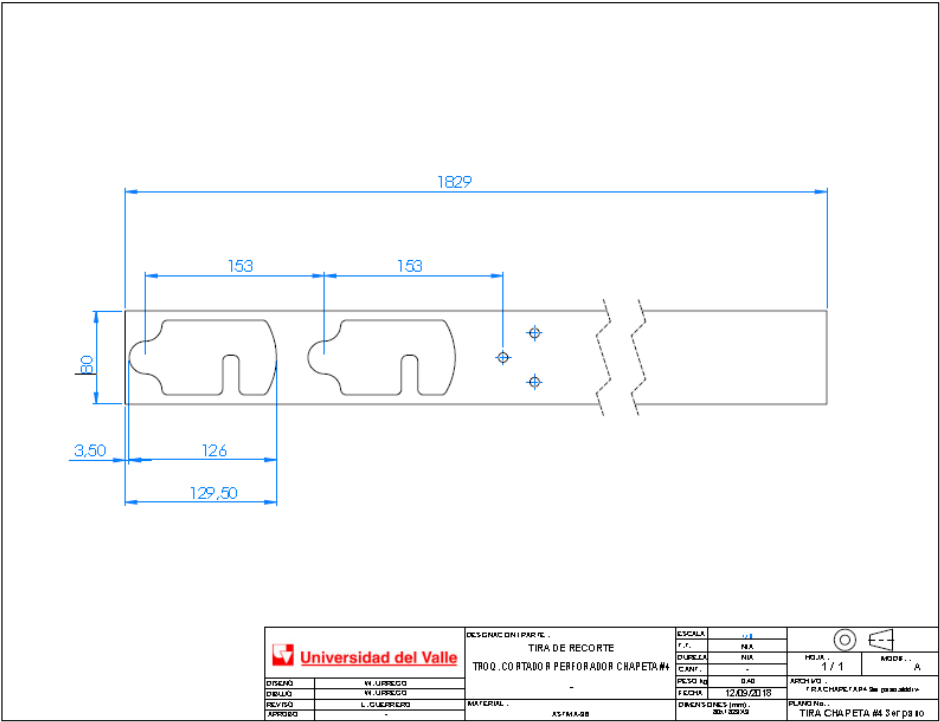
Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESIGNACION	MATERIAL	DIMENSIONES	CANT.
1	F-18-256-001	BASE INFERIOR	ASTM A-36	50x350x350	1
2	F-18-256-002	PASTILLA DE CORTE #1	ACERO K-110	30x70x80	1
3	F-18-256-003	PASTILLA DE CORTE #2	ACERO K-110	30x43x70	1
4	F-18-256-004	PASTILLA DE CORTE #3	ACERO K-110	30x50x72	1
5	F-18-256-005	PASTILLA DE CORTE #4	ACERO K-110	30x70x87	1
6	F-18-256-006	PASTILLA DE CORTE #5	ACERO K-110	30x70x100	1
7	F-18-256-007	EXPULSOR PIEZA	ACERO CHRONIT	15x84x126	1
8	F-18-256-008	MATRIZ Ø8mm	ACERO K-110	Ø21x30	3
9	F-18-256-009	PORTA MATRICES Ø8mm	ASTM A-36	30x55x140	1
10	F-18-256-010	SOPORTE IZQUI. GUIA MATERIAL	ASTM A-36	18x40x140	1
11	F-18-256-011	SOPORTE DERECHO GUIA MATERIAL	ASTM A-36	18x30x140	1
12	F-18-256-012	GUIA MATERIAL #1	ASTM A-36 CALIBRADO	9,53x30x460	1
13	F-18-256-013	GUIA MATERIAL #2	ASTM A-36 CALIBRADO	9,53x30x460	1
14	F-18-256-014	GUIA MATERIAL #3	ASTM A-36 CALIBRADA	9,53x25x142,40	2
15	F-18-256-015	ELASTOMER O EXPULSOR PIEZA	ELASTOMER O	Ø40x32	1
16	F-18-256-016	TORNILLO HOMBRO O EXPULSOR DE PIEZA	AISI 1045	Ø19x61	1
17	F-18-256-017	TOPE MANUAL DE INICIO	ASTM A-36	9,53x12,70x105	2
18	F-18-256-018	TOPE	ACERO ARNE	Ø22x15	1
19	F-18-256-019	COLUMNA GUIA	AISI 8620	Ø44x190	4
20	F-18-256-020	BASE SUPERIOR	ASTM A-36	37,30x350x350	1
21	F-18-256-021	PORTA MACHO CORTADOR	ASTM A-36	20x95x170	1
22	F-18-256-022	PORTA PUNZONES	ASTM A-36	20x75x95	1
23	F-18-256-023	MACHO DE CORTE	ACERO K-110	40x84x126	1
24	F-18-256-024	PUNZON	ACERO K-110	Ø19x80	3
25	F-18-256-025	PISADOR	ASTM A-36	20x155x300	1
26	F-18-256-026	ELASTOMER O PISADOR	ELASTOMER O	Ø25x40	12
27	F-18-256-027	TORNILLO DE HOMBRO PISADOR	AISI 1045	Ø15x75,50	12
28	F-18-256-028	BUJE GUIA	AISI 8620	Ø59x55	4
29	F-18-256-029	MUÑO	AISI 1045	Ø52x101	1
30	F-18-256-030	BRIDA	ASTM A-36	10x10,50x18	24

[illegible]

 <b>Universidad del Valle</b>	DISEÑO EN CAD: 1.000000 CONJUNTO		ESCALA: 1:100000	HOJA: 1/4	MODE: A
	TÍTULO: PERFORACIÓN DE CIMENTACIÓN		DUREZA: 1.000000 CONF: 1.000000	FECHA: 21/08/2018	ARCHIVO: 1-2208-000-000-000
DISEÑO: W. GARCIA DIBUJO: W. GARCIA REVISÓ: L. GUERRERO APROBÓ: L. GUERRERO	AUTORIZA: L. GUERRERO FECHA: 21/08/2018	DISEÑO EN CAD: 1.000000 CONJUNTO			

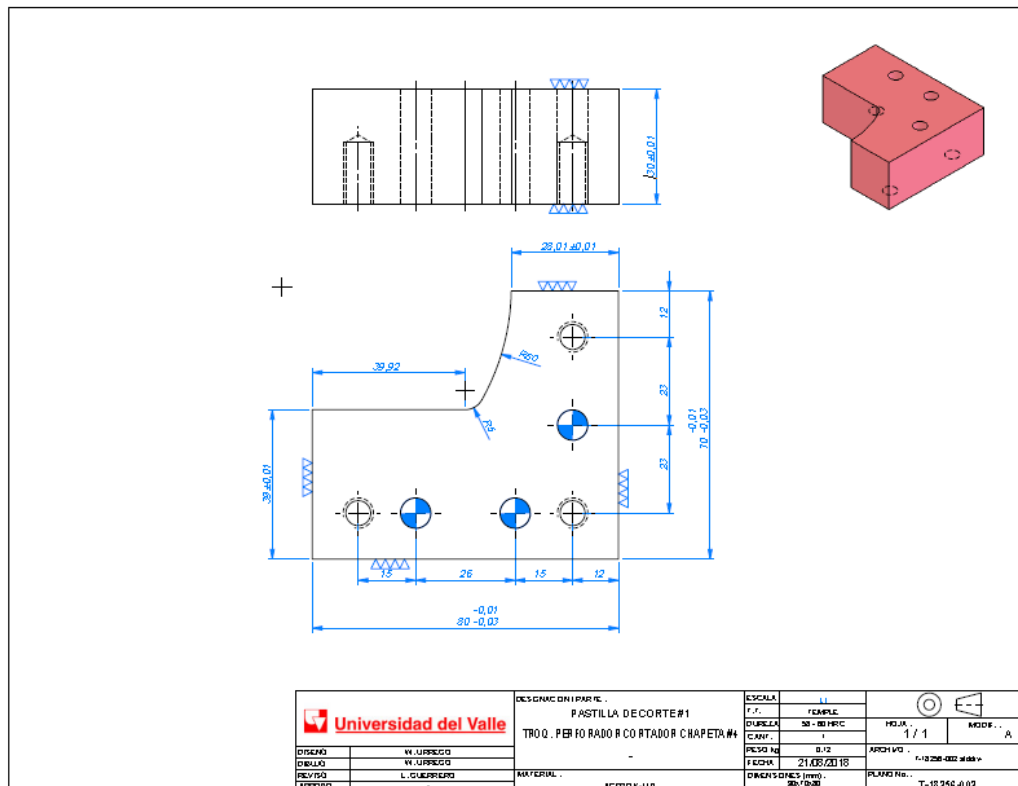
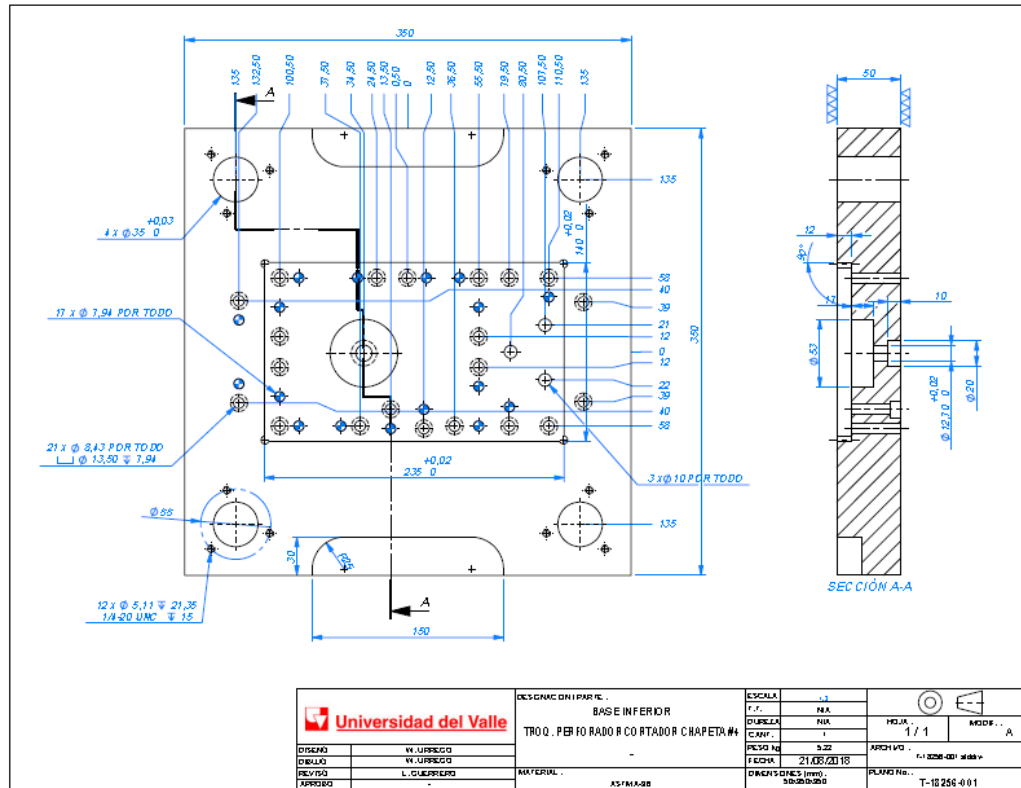


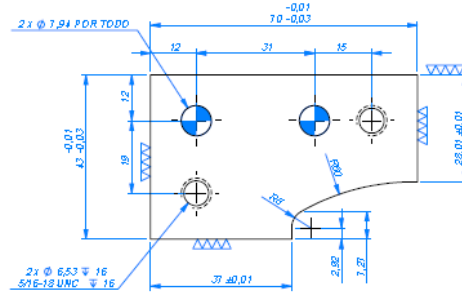
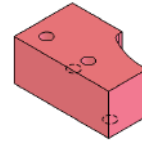
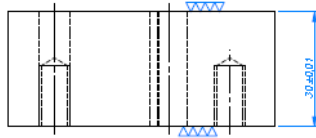
ANEXO C. TIRA DE RECORTE





## ANEXO D. PLANOS DE FABRICACION DE LOS COMPONENTES





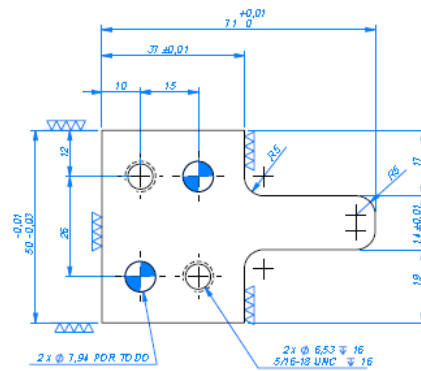
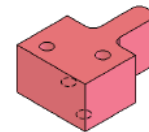
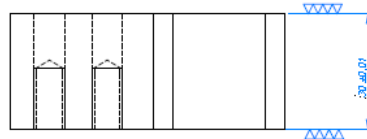
**Universidad del Valle**

DISEÑO: W. JUREGO  
DIBUJO: W. JUREGO  
REVISÓ: L. GUERRERO  
APROBÓ: -

DESIGNACIÓN PARTE: PASTILLA DECORTE#2  
TROQ. PERFORADO R CORTADOR CHAPETA#4  
MATERIAL: ACERO K-118

ESCALA: 1:1  
F.P.: FEMLE  
DUREZA: 50-55 HRC  
CANF: -  
PESO: 0.87  
FECHA: 21.08.2018

HOJA: 1/1  
MODIF.: A  
ARCHIVO: T-10-256-000-000  
PLANO No.: T-10-256-003



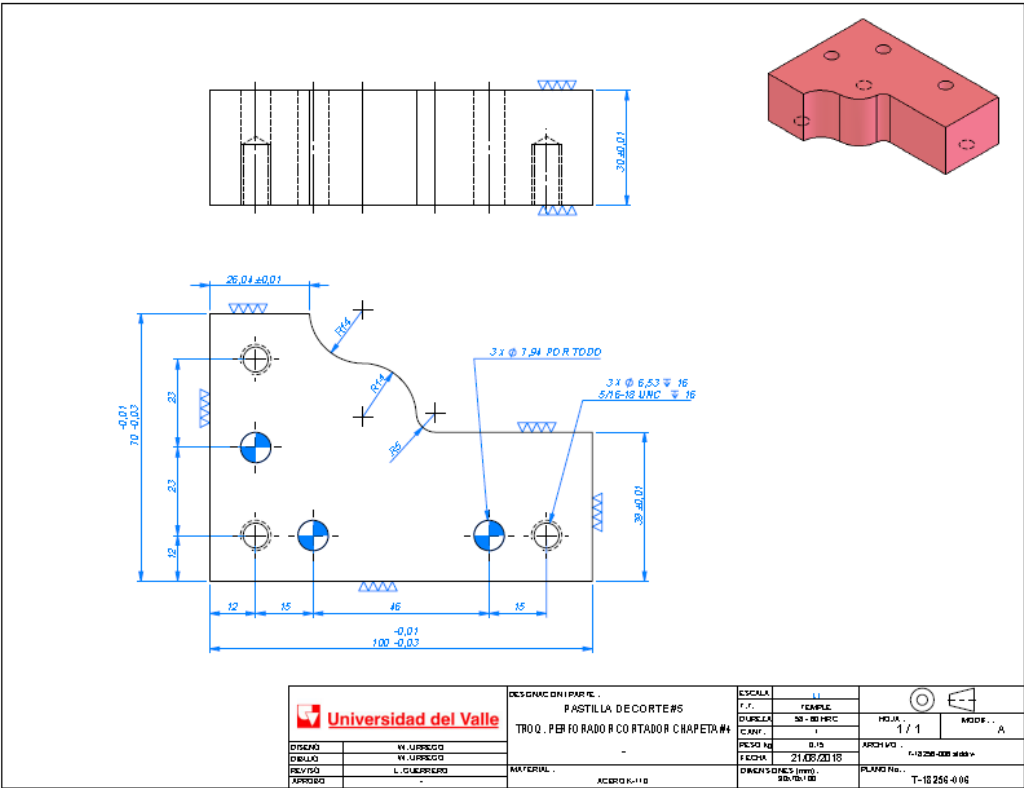
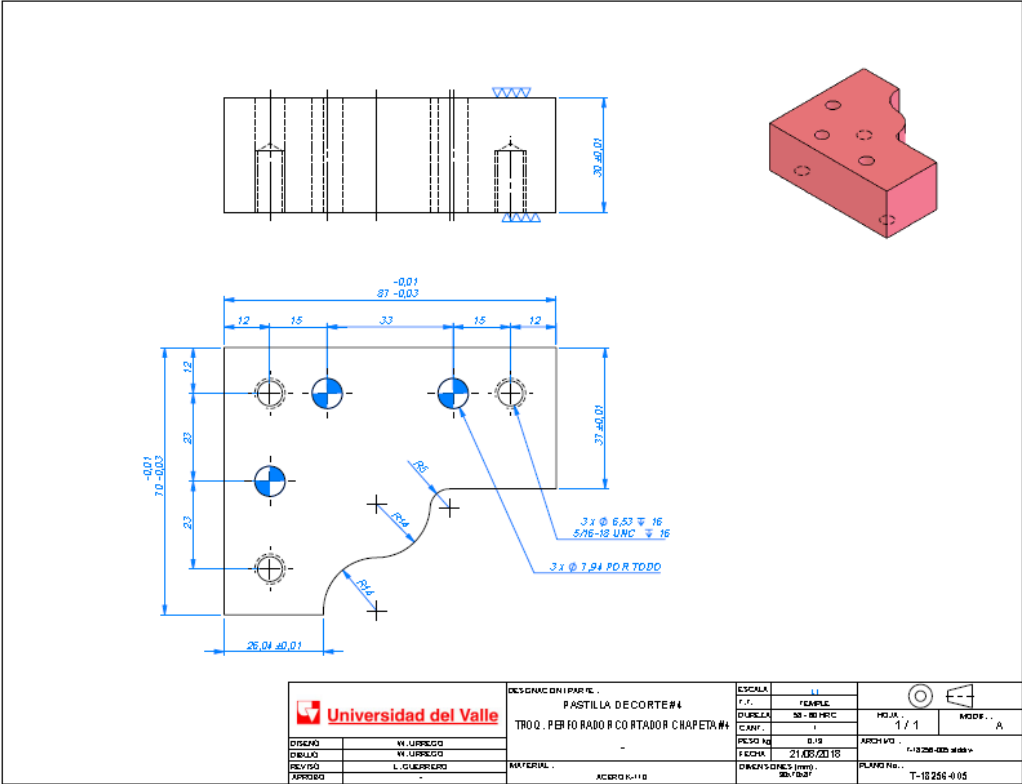
**Universidad del Valle**

DISEÑO: W. JUREGO  
DIBUJO: W. JUREGO  
REVISÓ: L. GUERRERO  
APROBÓ: -

DESIGNACIÓN PARTE: PASTILLA DECORTE#3  
TROQ. PERFORADO R CORTADOR CHAPETA#4  
MATERIAL: ACERO K-118

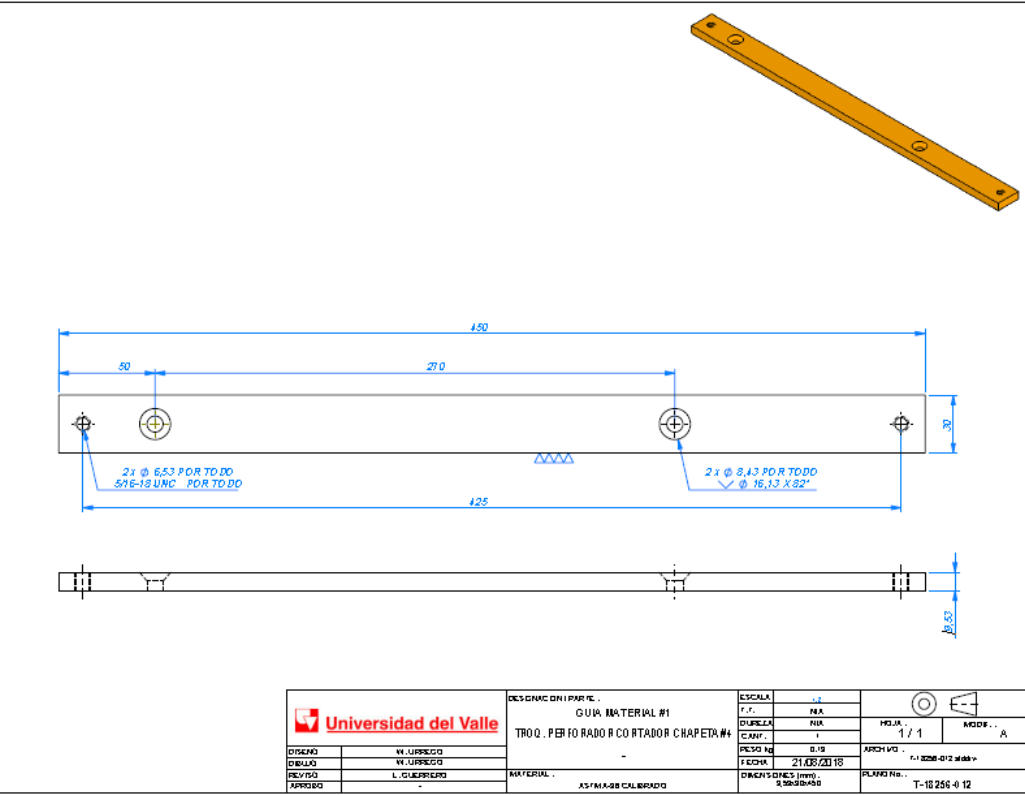
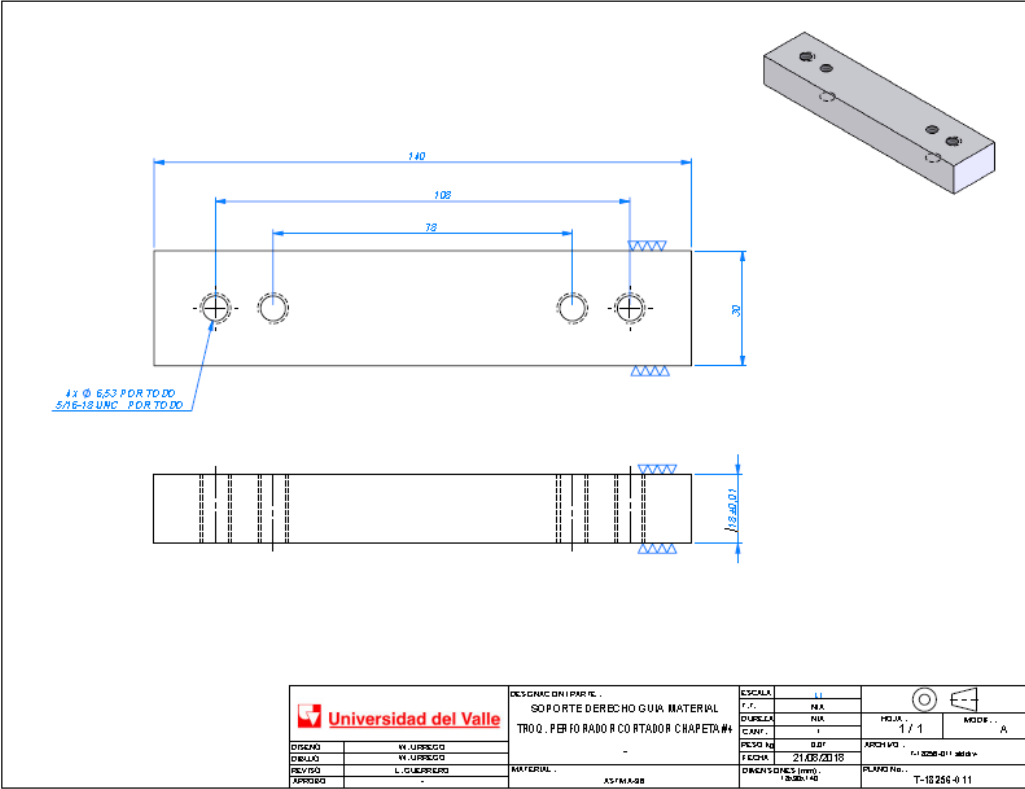
ESCALA: 1:1  
F.P.: FEMLE  
DUREZA: 50-55 HRC  
CANF: -  
PESO: 0.87  
FECHA: 21.08.2018

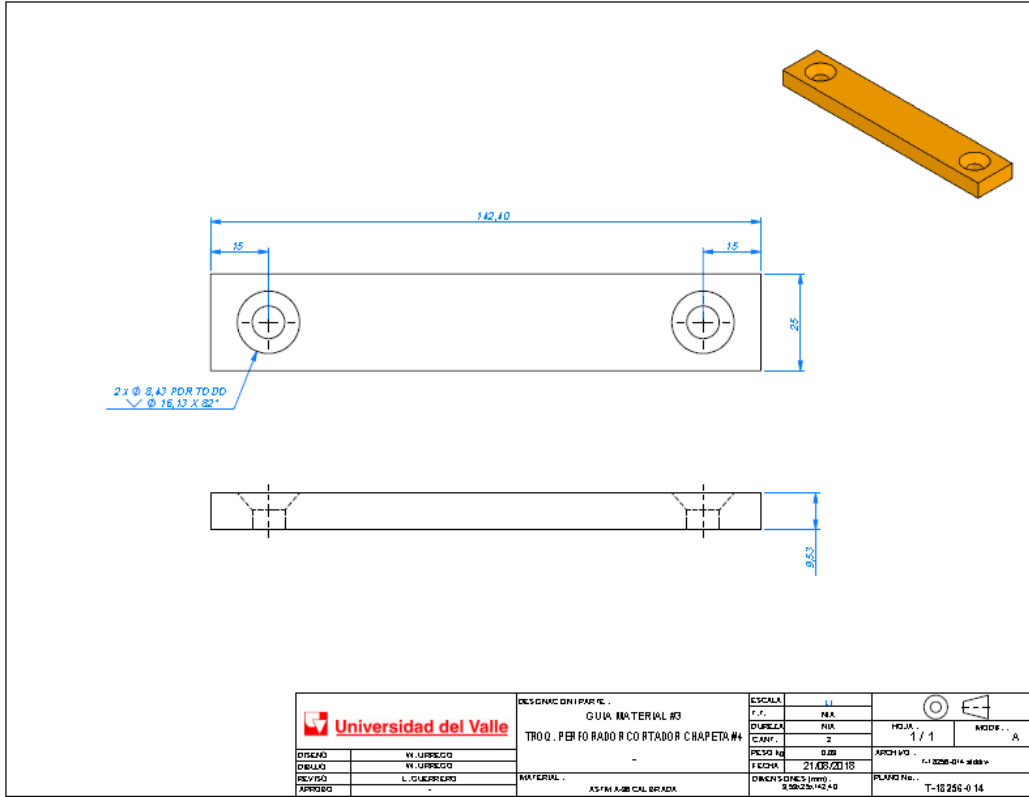
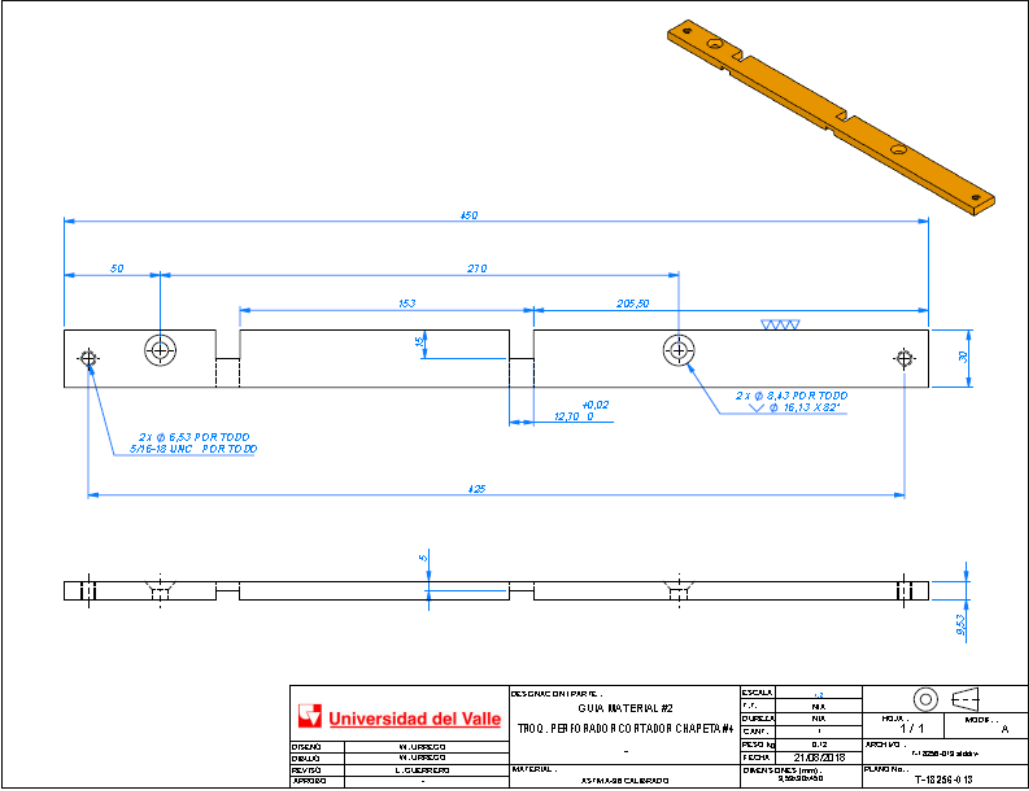
HOJA: 1/1  
MODIF.: A  
ARCHIVO: T-10-256-000-000  
PLANO No.: T-10-256-004

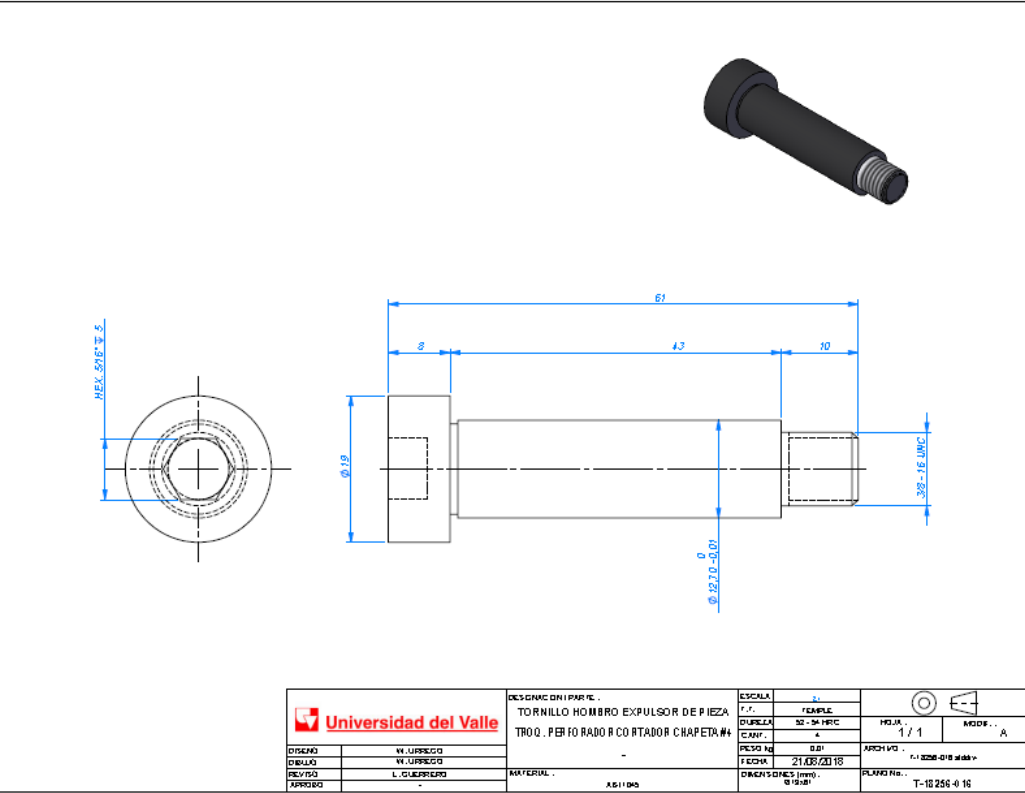
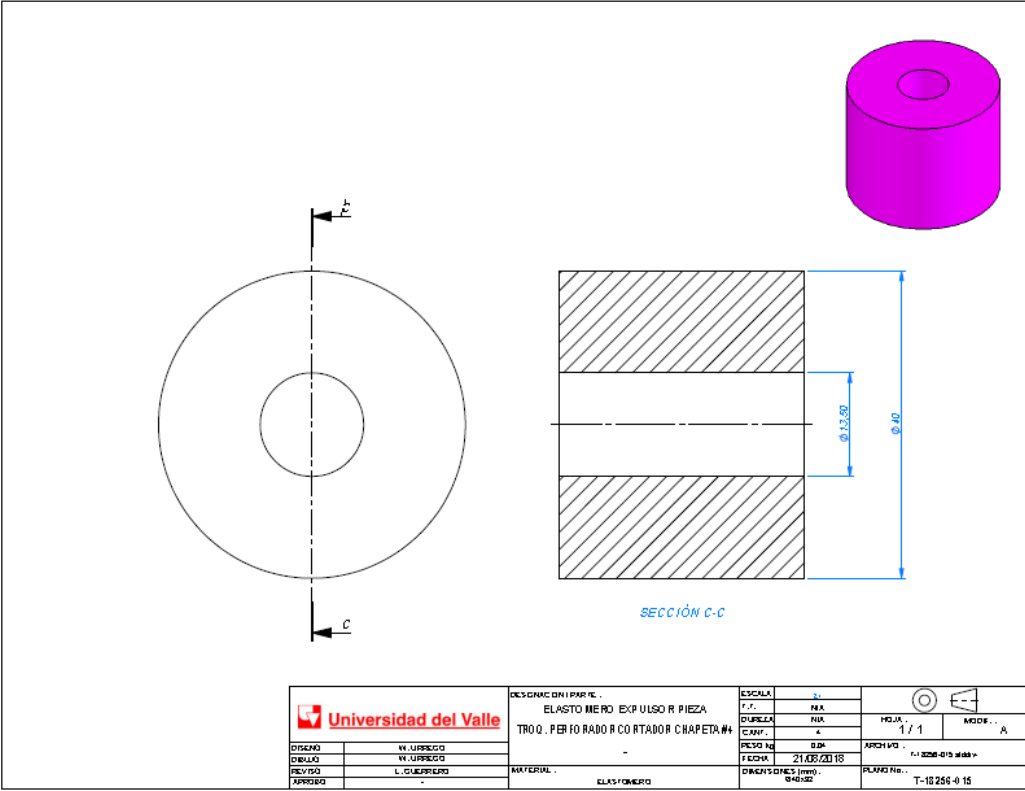




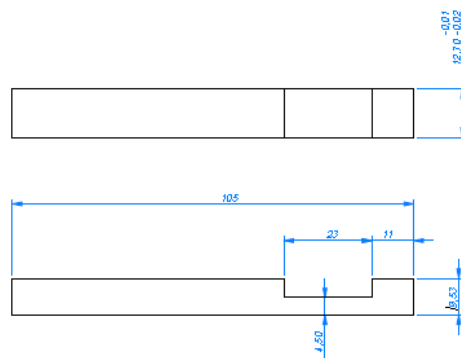






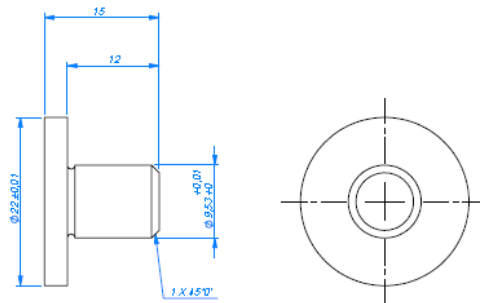






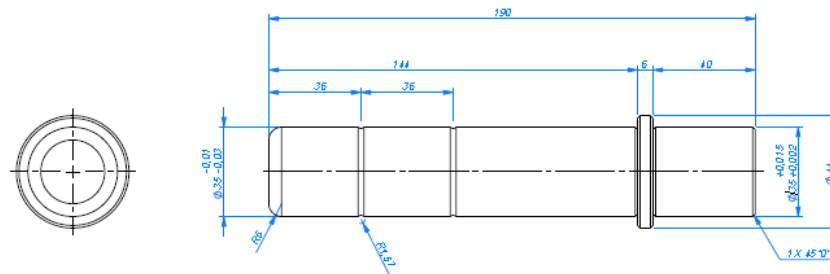
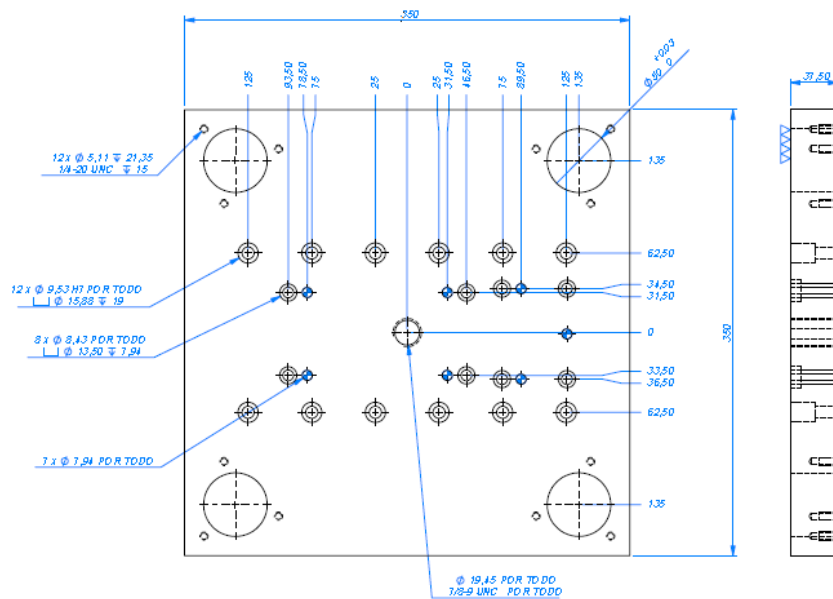






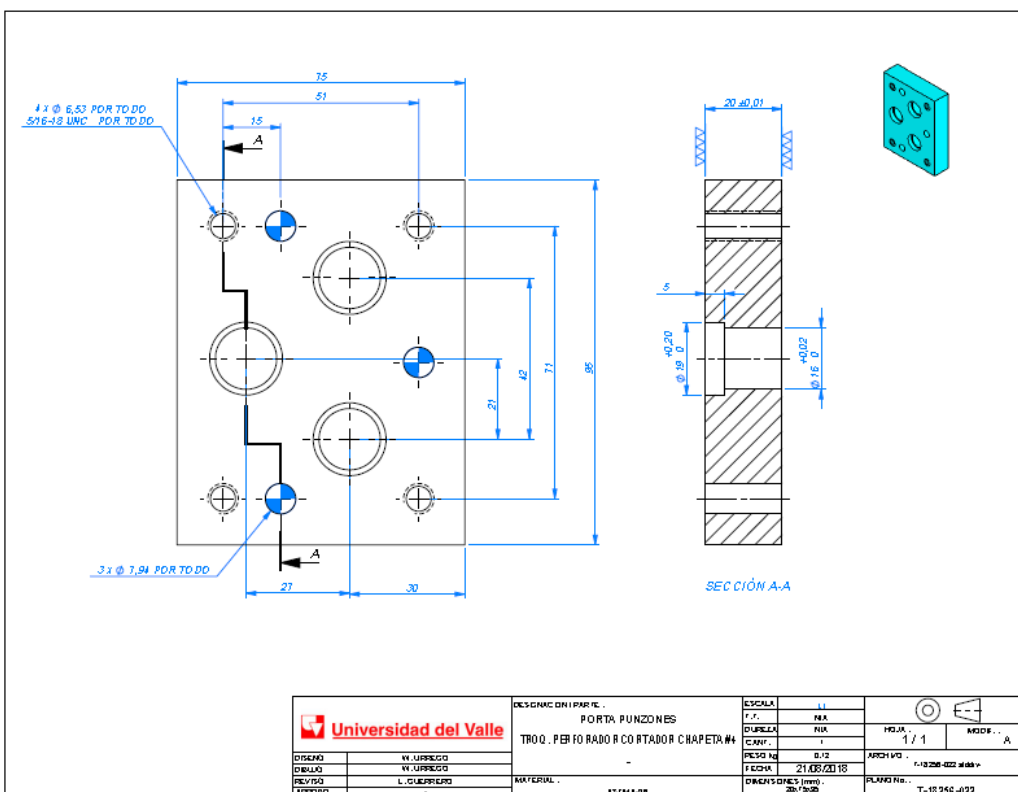
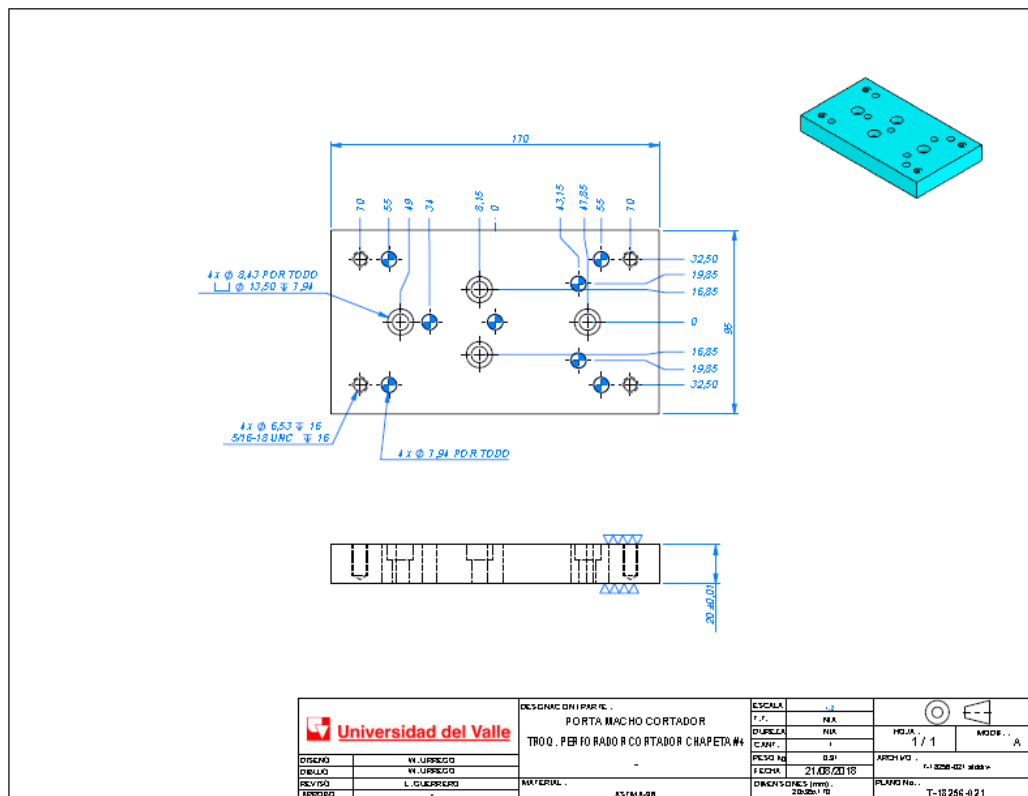
 <b>Universidad del Valle</b>		DESCRIPCION DE PARTE : TOPE MANUAL DE INICIO TROQ. PERFORADOR CONTADOR CHAPETA #47		ESCALA : 1:1 T.A. : N/A DUREZA : N/A T. : PESO kg : 0.01 LECTURAS : 21.00 / 0.25		HOJA : 1/1 MODELO : A
DISEÑO : DIBUJO : REV/D : APROBADO :	M. GUERRERO M. GUERRERO L. GUERRERO -	MATERIAL : X57MA-08	DIMENSIONES (mm): 2.50 x 2.00 x 0.5	ARCHIVO : 1-0006-01-00000	PLANO NRO : T-10.250-017	

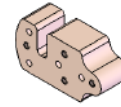





 <b>Universidad del Valle</b>	DESCRIPCION DE PARTE .		ESCALA		
	TO PE		1:1 TÍTULO		
TRO Q. PERFORADOR CORTADOR CHAPETRA#4			DIAMETRO 42-50 PERC CONT.	HOJA 1/1	MODELO A
DISEÑO	M. JURRICO	-	PESO EN KG 21,08 2018	ARCHIVO 01-Z06-018.mxd	
REVISÓ	L. GUERRERO	MATERIAL	DIMENSIONES 022.15	PLANO HOJA	T-10 250 x 10
APROBÓ		ACERO A36			

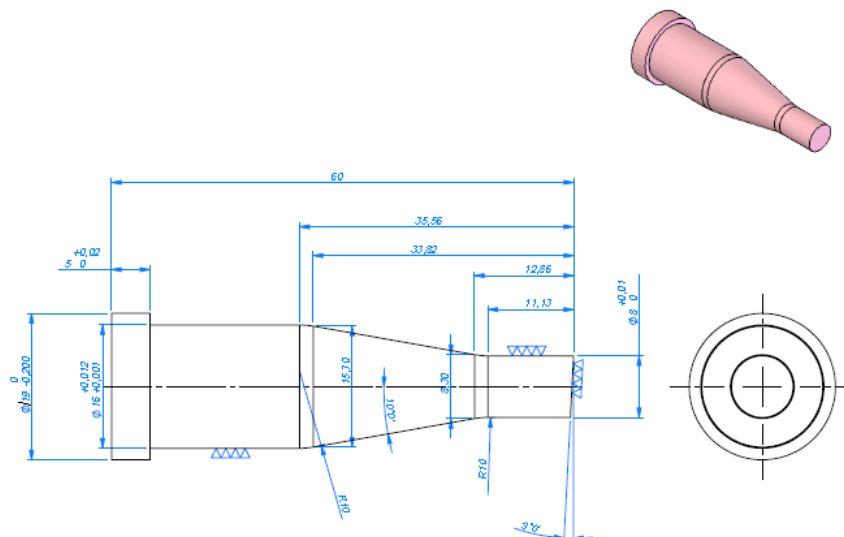
[illegible]



 <b>Universidad del Valle</b>	DESCRIPCION DE LA PARTE :	ESCALA :	
	TROQ. PERFORADOR ROTATOR CHAPETA #	P.F. : N/A	
DISEÑO : W. URIBE		DUREZA : N/A	MOD. : A
DIBUJO : W. URIBE		CARB. : 4/5	
REVISO : L. GUERRERO		PESO kg : 4.75	ARCHIVO : 1-28-020.088+
	MATERIAL :	FECHA : 21/08/2018	
	87.541.8.08		PLANO No. : 1-28-020.08

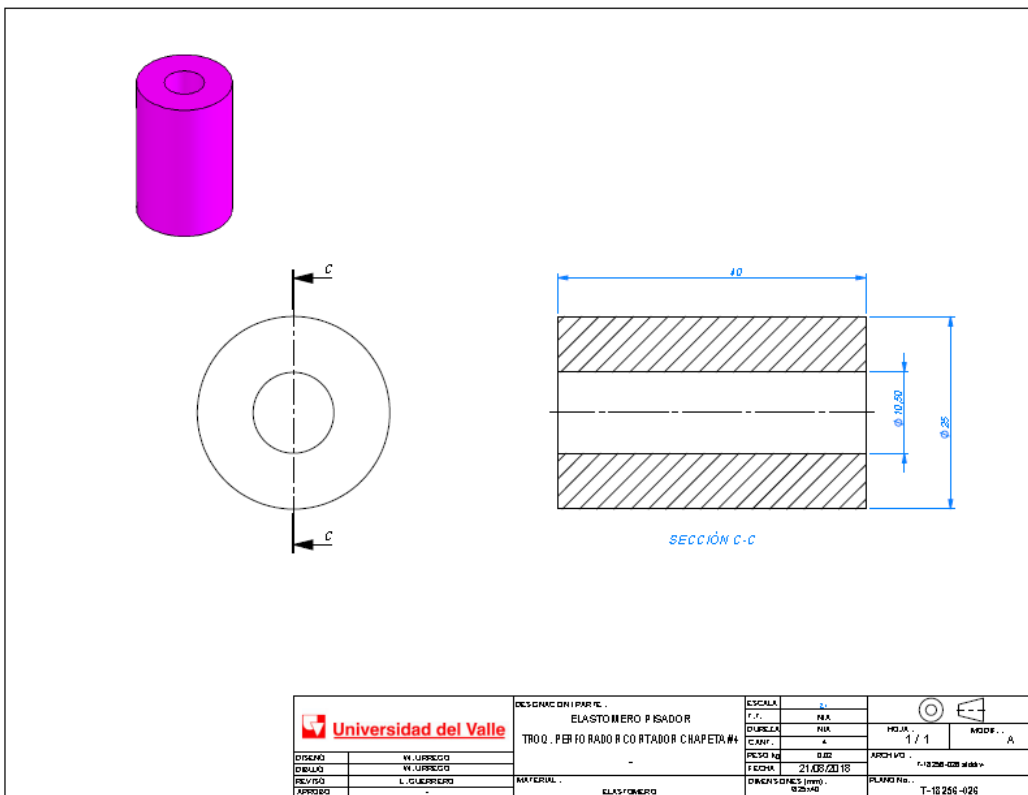
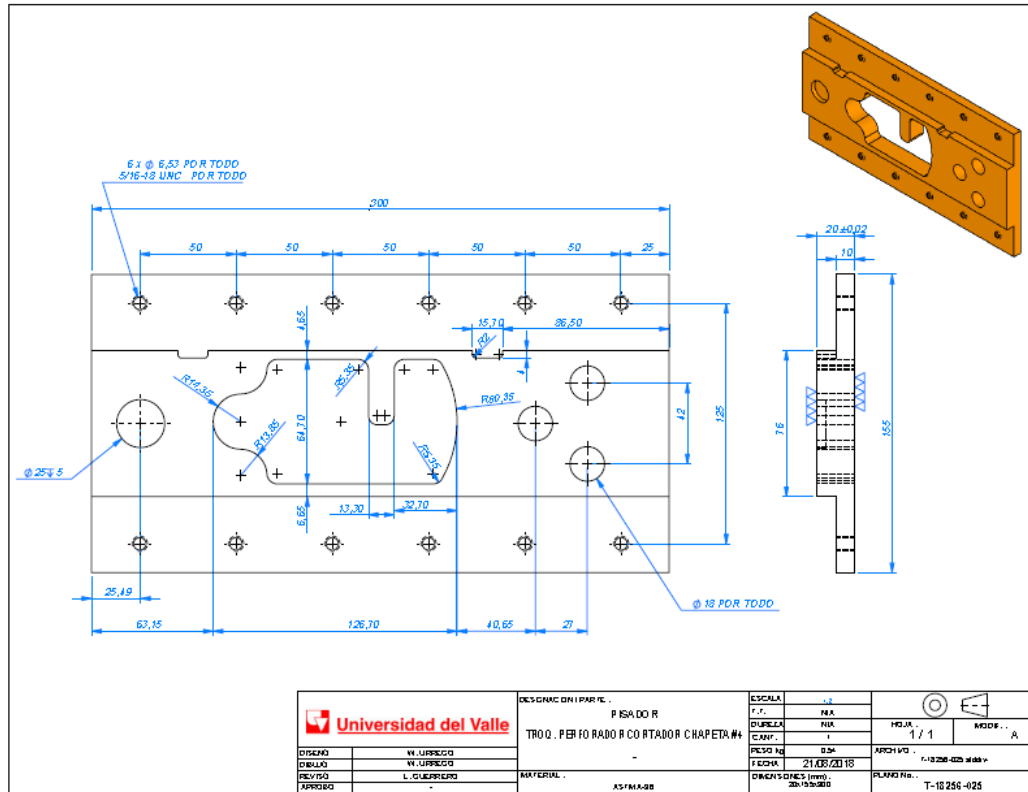


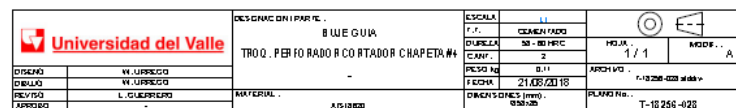
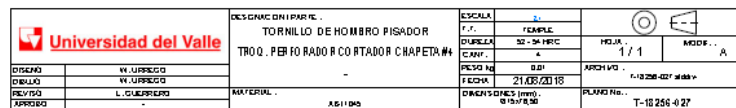


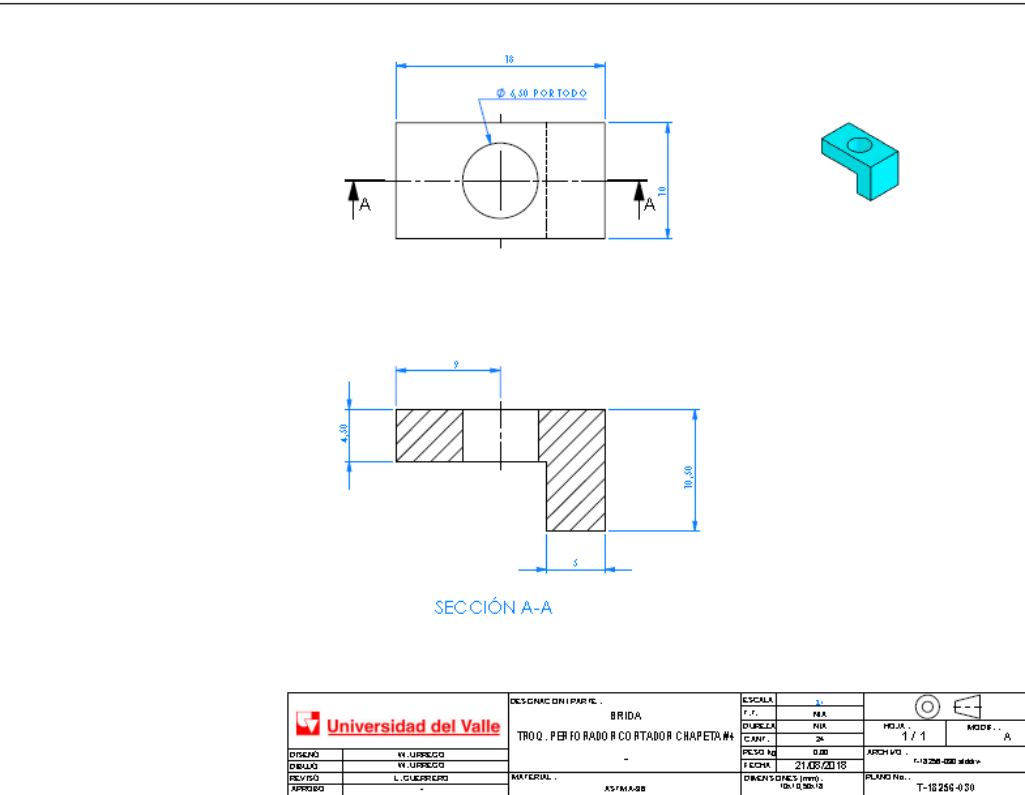
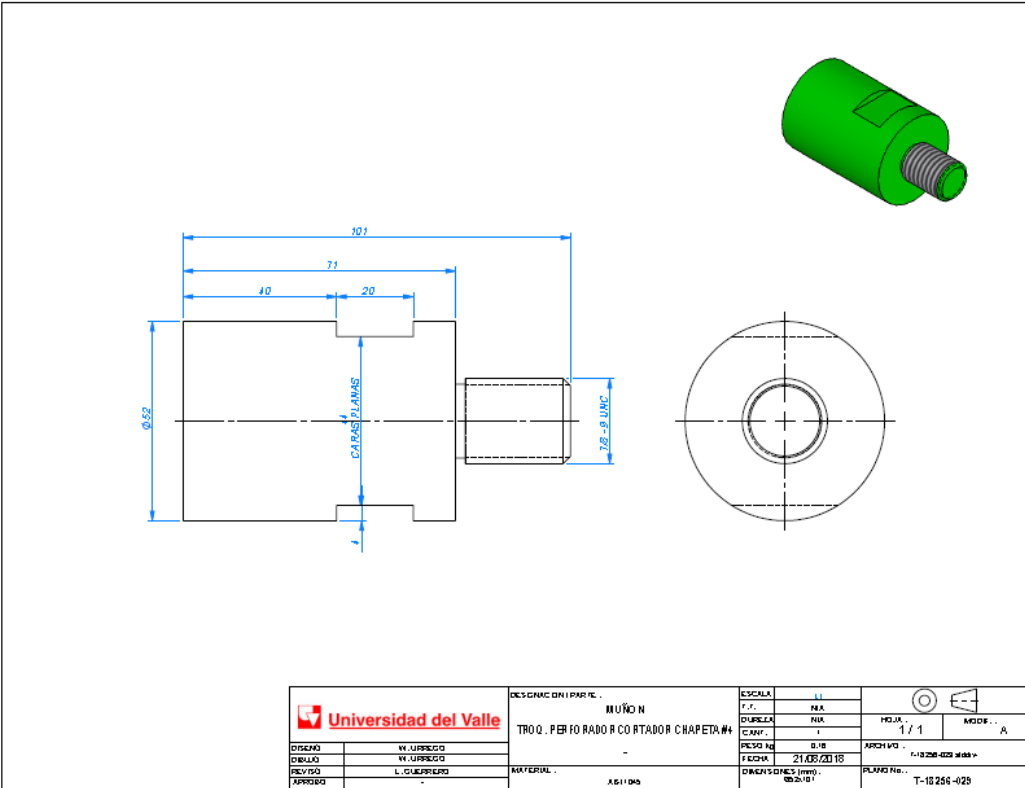
 <b>Universidad del Valle</b>	DESCRIPCION DE PARTE : <b>NACHO DE CORTE</b>		ESCALA : <b>1:1</b> F.P. : <b>TEMPLE</b>	 
	<b>TROQ. PERFORADO R CORTADOR CHAPETA#4</b>		HOJA : <b>1/1</b> MODELO : <b>A</b>	
DISEÑO : <b>W. JURGENO</b> DIBUJO : <b>W. JURGENO</b> REVISÓ : <b>L. GUERRERO</b> APROBÓ :	MATERIAL : <b>ACERO K-118</b>		CANTIDAD : <b>21.000 (21)</b> OBSERVACIONES : <b>+0.004 (1) 28</b>	PLANO No. : <b>T-1256-023 (48x)</b> T-1256-023



 <b>Universidad del Valle</b>	DESCRIPCION PARTE . . .	ESCALA		
	FUNCIÓN	1:1	FOLIO	
TROQ. PERFORADOR CORTADOR CHAPETA#4		DIURELLA	50-80 HRC	MOD. . . A
		CANF.	S	
		PESO kg	0.01	ARCHIVO
		FICHA	21.03.2018	1-1228-02-0000
MATERIAL . . .		DIMENSIONES (mm)	PLANO No. . . T-12.262.0034	







## ANEXO E. COTIZACION FABRICACION DEL TROQUEL



Nit: 900962808-6  
 Direccion: Cra 17B # 33F-30  
 Telefono: 4487897  
 Celular: 3178327559

## COTIZACIÓN

FECHA	12/09/2018
COTIZACIÓN #	017-01
CLIENTE ID	006
VALIDO HASTA	22/09/2018

### CLIENTE

SEÑOR WILLIAN URREGO  
 UNIVERSIDAD DEL VALLE  
 CALI  
 313 6143815

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT.	CANT.	IMPUESTOS	TOTAL
Fabricacion troquel perforador cortador chapeta #4	7.500.000,00	1	1.425.000,00	7.500.000,00
Consta de 2 bases en acero A-36 de 2" de espesor	-		-	-
rectificadas, Columnas y bujes en acero SAE 8620			-	-
cementados y rectificados, soportes guía material en			-	-
platina calibrada y casquillos, punzones y cortadores en			-	-
acero XW41 con tratamiento termico y rectificados			-	-
con dureza de 62HRC			-	-
			-	-
			-	-
			-	-
			-	-
			-	-
			-	-
			-	-
			-	-
			-	-

Subtotal \$ 7.500.000,00  
 IVA 19% \$ 1.425.000,00

### TÉRMINOS Y CONDICIONES

1. Al cliente se le cobrará después de aceptada esta cotización
2. El pago será debitado antes de la entrega de bienes y servicios

La aceptación del cliente (firmar a continuación):

x \_\_\_\_\_  
 Nombre del cliente

**TOTAL \$ 8.925.000,00**

Si usted tiene alguna pregunta sobre esta cotización, por favor, póngase en contacto con nosotros  
 David R. Rivera Cel.3178327559

Email: mecanizadoeficazdr.sa.s@outlook.com  
**Gracias por hacer negocios con nosotros!**